



**RANCANG BANGUN *MULTILEVEL BOOST CONVERTER*  
MENGUNAKAN KONTROL PID DENGAN BEBAN  
RESISTIF**

**SKRIPSI**

Oleh

**Richo Tetuko Aji Wicaksono  
NIM 131910201058**

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



**RANCANG BANGUN *MULTILEVEL BOOST CONVERTER*  
MENGUNAKAN KONTROL PID DENGAN BEBAN  
RESISTIF**

**SKRIPSI**

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

oleh

**Richo Tetuko Aji Wicaksono  
NIM 131910201058**

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

**PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT Yang Maha atas segalanya;
2. Nabi besar Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat manusia;
3. Kedua orang tua, Ibu Suminah dan Bapak Suparji yang tercinta dan tersayang;
4. Anggota keluarga, Adek Nilam Enggar Setyoningrum yang tercinta dan tersayang;
5. Keluarga perantuan Pesona Regency AC-7, Keluarga besar bapak Rudi dan Mahasiswa Arek Malang (MAHAREMA) Jember;
6. Keluarga besar Laboratorium Listrik Dasar, Laboratorium Sistem Tenaga, Laboratorium Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik Universitas Jember;
7. Keluarga KKN PPM Karangharjo;
8. Keluarga INTEL UJ 13 “Ikatan Teknik Elektro Universitas Jember 2013”;
9. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

## MOTTO

Sembahlah Allah dan janganlah kamu mempersekutukan-Nya dengan sesuatupun. Dan berbuat baiklah kepada dua orang ibu-bapa, karib-kerabat, anak-anak yatim, orang-orang miskin, tetangga yang dekat dan tetangga yang jauh, dan teman sejawat, ibnu sabil dan hamba sahayamu. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang sombong dan membangga-banggakan diri.<sup>\*)</sup>

وَالصَّلَاةِ الصَّابِرِ وَاسْتَعِينُوا

Mintalah pertolongan dengan sabar dan shalat.<sup>\*\*)</sup>

“Akal dan belajar adalah itu seperti raga dan jiwa. Tanpa raga, jiwa hanyalah udara hampa. Tanpa jiwa, raga adalah kerangka tanpa makna.”<sup>\*\*\*)</sup>

---

<sup>\*)</sup>, (Q.S An Nisaa', 4:36)..

<sup>\*\*)</sup> QS Al-Baqarah: 45.

<sup>\*\*\*)</sup>(Kahlil Gibran)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Richo Tetuko Aji Wicaksono

NIM : 131910201058

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Rancang Bangun *Multilevel Boost Converter* Menggunakan Kontrol PID Dengan Beban Resistif” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 1 Februari 2018

Yang menyatakan,

Richo Tetuko Aji Wicaksono

NIM 131910201058

**SKRIPSI**

**RANCANG BANGUN *MULTILEVEL BOOST CONVERTER*  
MENGUNAKAN KONTROL PID DENGAN BEBAN  
RESISTIF**

Richo Tetuko Aji Wicaksono  
NIM 131910201058

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : RB. Moch. Gozali, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Rancang Bangun *Multilevel Boost Converter* Menggunakan Kontrol PID Dengan Beban Resistif” karya Richo Tetuko Aji Wicaksono telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 1 Februari 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

**Tim Penguji:**

Ketua,

Anggota I,

RB. Moch. Gozali, S.T., M.T.  
NIP 196906081999031002

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.  
NIP 196312011994021002

Anggota II,

Anggota III,

Supriyadi Prasetyono, S.T., M.T.  
NIP 197004041996011001

Sumardi, S.T., M.T.  
NIP 196701131998021001

Mengesahkan  
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.  
NIP 196612151995032001

## RINGKASAN

**Rancang Bangun Multilevel Boost Converter Menggunakan Kontrol PID Dengan Beban Resistif;** Richo Tetuko Aji Wicaksono, 131910201058; 2018; 91 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Di zaman sekarang kebutuhan energi semakin banyak. Salah satunya adalah Kebutuhan energi listrik seiring dengan berjalanya waktu kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Dalam draft Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2015-2034 yang dikeluarkan oleh PLN disebutkan bahwa apabila target porsi energi baru dan energi terbarukan menjadi paling sedikit sebesar 23 % untuk tahun 2025 mendatang. Dalam hal ini kebutuhan untuk energy baru dan terbarukan sangat dibutuhkan dalam masa mendatang. Disamping itu perlu juga adanya komponen peralatan yang memiliki kehandalan dan efisiensi yang baik. Teknologi DC-DC konverter adalah sirkuit yang paling banyak digunakan dalam elektronika daya. Efisiensi dalam pemanfaatan energi sangat diperlukan. Dalam perkembangan teknologi konverter memiliki berbagai jenis dan berbagai keunggulan. Salah satu jenisnya adalah *boost converter*. Dari teknologi konverter kali ini agar mendapatkan tegangan output yang lebih tinggi dari pada tegangan inputnya. Kita ketahui bahwa konverter DC-DC tipe *switching* lebih banyak digunakan bila dibanding tipe linier untuk mengkonversi satu bentuk sumber listrik ke beberapa bentuk tegangan dan arus yang dibutuhkan oleh satu atau lebih beban listrik karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibanding linier.

Pada perkembangan konverter penaik tegangan banyak sekali variasi dan model. Salah satu perkembangan dari teknologi adalah *multilevel boost converter*. Jadi *multilevel boost converter* adalah konverter daya bertingkat yakni suatu konsep umum melibatkan pemanfaatan jumlah yang lebih tinggi dari *switch* semikonduktor aktif untuk melakukan daya pada tahap tegangan kecil. Ada beberapa keuntungan dari metode ini bila dibandingkan dengan dua level atau tiga level, produksi dari kualitas bentuk gelombang daya yang lebih tinggi dan juga



mengurangi  $\frac{dv}{dt}$  pada beban. Disini yang dimaksud dengan  $\frac{dv}{dt}$  adalah tingkat sesaat perubahan tegangan dari waktu ke waktu atau laju perubahan tegangan. Lalu, keuntungannya juga mengurangi hal yang berkaitan dengan kompatibilitas elektromagnetik atau *electromagnetic compatibility* (EMC).

Pada penelitian ini akan mencoba merancang sebuah multilevel boost konverter dengan tingkatan 3 level. Peningkatan level ini dengan menambahkan jumlah diode dan kapasitor. Perancangan konverter ini diawali dengan merancang setelah itu akan dibandingkan dengan menggunakan control dan menggunakan kontrol untuk mengontrol tegangan keluaran. Kontrol yang digunakan adalah kontrol PID. Selain itu untuk mengetahui efisiensi dari *multilevel boost converter* akan diuji dengan memberikan variasi *set point* tegangan keluaran. Selain itu, untuk menguji efisiensi dengan memberikan variasi pembebanan untuk *multilevel boost converter*.

Hasilnya pada perancangan *multilevel boost converter* sebelum menggunakan kontrol PID dihasilkan semakin besar *duty cycle* maka semakin besar tegangan keluaran. Dikuti pula efisiensi juga semakin baik. Setelah *multilevel boost converter* diberi kontrol PID nilai efisiensi tegangan keluaran semakin lebih baik dari sebelum menggunakan kontrol. Untuk pemberian variasi tegangan keluaran. Dengan pemberian tegangan masukan sebesar 5 volt untuk set point tegangan keluaran adalah 10 volt, 15 volt, 20 volt dan 25 volt. Efisiensi terbaik terjadi pada set point tegangan 25 volt. Untuk pemberian variasi pembebanan dengan nilai 1 K $\Omega$ , 1.2 k $\Omega$ , 1.5 k $\Omega$ , 2 k $\Omega$ , 2.2 k $\Omega$ . dengan tegangan masukan sebesar 5 volt dan set point tegangan keluaran tetap sebesar 20 volt. Efisiensi relative stabil dan baik diangka 60-70%.

## SUMMARY

*Design of Multilevel Boost Converter Using PID Control With Resistive Load;*  
Richo Tetuko Aji Wicaksono, 131910201058; 2018; 91 pages; Departement of  
Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Today energy requirements are increasing. One of them is the requirements of electrical energy along with the timing of electrical energy demand is increasing. In the draft National Electricity Public Plan (RUKN) 2015-2034 issued by PLN stated that if the target portion of new energy and renewable energy to be at least by 23 % for the year 2025. In this case the need for new and renewable energy is needed in the future. Besides, it is necessary also the existence of equipment components that have good reliability and efficiency. DC-DC converter technology is the most widely used circuit in power electronics. Efficiency in energy utilization is necessary. In the development of converter technology has various types and various advantages. One type is a boost converter. From this converter technology to get a higher output voltage than the input voltage. We know that switching DC-DC converters are more widely used when compared to linear types to convert a single form of power source to some form of voltage and current required by one or more electrical loads because they have higher efficiency than linear.

On the development of voltage converter converts a lot of variations and models. One of the technological developments is the multilevel boost converter. So multilevel boost converter is a power-generating converter that is a general concept involving the utilization of a higher number of active semiconductor switches to perform power at small voltage stages. There are several benefits of this method when compared to two levels or three levels, the production of a higher quality power waveform and also reduces  $\frac{dv}{dt}$  at load. Here  $\frac{dv}{dt}$  is the rate of voltage changes over time or the rate of voltage changes. Then, the benefits also

reduce things related to electromagnetic compatibility or electromagnetic compatibility (EMC)

In this research will try to design a multilevel boost converter with level 3 level. Increase this level by adding the number of diodes and capacitors. The design of this converter begins with the design after which it will be compared using the control and use the control to control the output voltage. The controls used are PID controls. In addition to knowing the efficiency of multilevel boost converter will be tested by providing variation set point output voltage. In addition, to test the efficiency by providing variations of loading for multilevel boost converter.

The result in multilevel boost converter design before using PID control is generated the bigger duty cycle the bigger the output voltage. Followed also the efficiency is also better. After the multilevel boost converter is given PID control the output voltage efficiency is getting better than before using the control. For giving variation of output voltage. By giving the input voltage of 5 volts for the set point the output voltage is 10 volts, 15 volts, 20 volts and 25 volts. The best efficiency occurs at a set of 25 volt voltages. For the provision of loading variations with values of 1 K $\Omega$ , 1.2 k $\Omega$ , 1.5 k  $\Omega$ , 2 k $\Omega$ , 2.2 k $\Omega$ . with an input voltage of 5 volts and a fixed output voltage set point of 20 volts. Efficiency is relatively stable and good diangka 60-70%.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Multilevel Boost Converter Menggunakan Kontrol PID Dengan Beban Resistif”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. RB. Moch. Gozali, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I, Sumardi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
3. Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Ibu Suminah dan Bapak Suparji selaku orang tua tercinta saya yang telah memberikan dukungan moril dan materil serta kasih sayang yang tak terhingga sepanjang masa;
5. Adek Nilam Enggarsasi Setyoningrum selaku anggota keluarga dan Ely H. R yang selalu menjadi motivasi untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini;
6. Keluarga Perum Pesona Regency AC 7 yaitu Bagus, Muazir, Nicolas, Faris, Ikhwan, Angga, Idris, Dimas, Galih, Sa'ni yang telah memberi warna dan arti persahabatan dalam perantauan.
7. Keluarga besar bapak Rudi Sumiharjo yang telah memberikan tempat bernaung dan bimbingan seperti orang tua kedua di perantauan.
8. Keluarga besar Laboratorium Listrik Dasar, Laboratorium Sistem Tenaga, Laboratorim Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik Universitas Jember.
9. Keluarga KKN PPM Karangharjo yang telah memberikan motivasi, arti kekeluargaan serta pelajaran hidup yang membimbing kepada pendewasaan.

10. Keluarga besar INTEL UJ 13 “Ikatan Teknik Elektro Universitas Jember 2013” atas kekeluargaan yang kalian berikan.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 1 Februari 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO.....	iv
PERNYATAAN.....	v
SKRIPSI.....	vi
PENGESAHAN .....	vii
RINGKASAN .....	viii
SUMMARY .....	x
PRAKATA .....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
<b>BAB 1.PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>4</b>
<b>1.6 Sistematika Penulisan.....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2.TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 DC-DC Converter.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 <i>Boost Converter</i> .....	7
<b>2.2 Multilevel Converter .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 MOSFET.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 PID .....</b>	<b>13</b>
2.4.1 Kontrol Proporsional .....	15
2.4.2 Kontrol Intergratif .....	15
2.4.3 Kontrol Derivatif .....	17

2.5 PWM .....	20
2.6 Arduino Uno R3 .....	23
<b>BAB 3.METODE PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.2 Tahapan Penelitian .....	25
3.3 Perencanaan Jadwal Penelitian.....	27
3.4 Alat dan Bahan.....	27
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	29
3.6 Blok Diagram dan Perancangan Sistem .....	30
3.6.1 Skema Rangkaian .....	31
3.6.2 Perhitungan Komponen .....	33
3.6.3 Desain Alat .....	35
3.7 Rencana Pengujian .....	36
3.7.1 Pengujian Dengan Perhitungan .....	37
<b>BAB 4.HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Pengujian Multilevel Boost Converter Beban Resistif Tanpa Menggunakan Kontrol PID .....	40
4.2 Penentuan Parameter Kontrol PID.....	42
4.3 Pengujian Kestabilan Tegangan Keluaran Pada <i>Set Point</i> Bervariasi.....	51
4.4 Pengujian Multilevel Boost Converter Pada Beban Resistif Bervariasi dengan Kontrol PID.....	53
4.4.1 Pengujian Resistansi Resistor.....	53
4.4.2 Pengujian Variasi Beban .....	54
4.5 Pengujian Kestabilan <i>Multilevel Boost Converter</i> .....	55
4.5.1 Pengujian <i>duty cycle</i> pada variasi <i>set point</i> tegangan keluaran .....	55
4.5.2 Pengujian <i>duty cycle</i> pada variasi beban .....	57
4.6 Perbandingan Multilevel Boost Converter Menggunakan Kontrol PID dan Tanpa Menggunakan.....	58
<b>BAB 5.KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>60</b>

4.1 Kesimpulan.....	60
4.2 Saran .....	61
DAFTAR PUSTAKA .....	62
LAMPIRAN.....	64





DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1 Pengontrol Proporsional, Integral dan Derivatif pada Sistem Lup Tertutup .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno R3 .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian .....</b>	<b>27</b>
<b>Tabel 3.2 Pengujian <i>Multilevel Boost Converter</i> Tanpa Menggunakan Kontrol PID.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabel 3.3 Pengujian <i>Multilevel Boost Converter</i> Menggunakan Kontrol PID</b>	<b>37</b>
<b>Tabel 4.1 Pengujian <i>Multilevel Boost Converter</i> .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabel 4.2 Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabel 4.3 Manual Tuning Parameter PID .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabel 4.4 Pengujian <i>Variasi Set Point Tegangan Keluaran</i> .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabel 4.5 Pengujian Nilai Resistor .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabel 4.6 Pengujian dengan Variasi Beban dengan <i>Set Point</i> Tegangan Tetap .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabel 4.7 Hubungan <i>Set Point</i> Tegangan <i>Output</i> dengan <i>Duty Cycle</i>.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabel 4.8 Pengujian <i>Duty Cycle</i> Pada Variasi Beban .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabel 4.9 Pengujian <i>Multilevel Boost Converter</i> Tanpa Kontrol .....</b>	<b>59</b>
<b>Tabel 4.10 Pengujian <i>Multilevel Boost Converter</i> Menggunakan Kontrol PID .....</b>	<b>59</b>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *DC-DC Converter* Tipe Peralihan (*Switch*) ..... 6

Gambar 2.2 Besaran Tegangan Keluaran Berbentuk Pulsa..... 6

Gambar 2.3 Rangkaian *Boost Converter* ..... 7

Gambar 2.4 Rangkaian *Boost Converter* saat Saklar Posisi Tertutup ..... 8

Gambar 2.5 Rangkaian *Boost Converter* saat Saklar Posisi Terbuka ..... 8

Gambar 2.6 Bentuk Gelombang dari Tegangan dan Arus untuk Siklus  
Periode Pertama *Boost Converter* ..... 9

Gambar 2.7 *Three-level Converter Switching States* ..... 11

Gambar 2.8 Simbol MOSFET ..... 12

Gambar 2.9 Blok Diagram PID ..... 14

Gambar 2.10 Kontrol PID menurut definisi *Rise Time, Peak Time, Overshoot, Settling time dan Steady state error* dari gambar berikut..... 19

Gambar 2.11 Beberapa grafik dapat menunjukkan bagaimana respon dari  
sistem terhadap perubahan  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  ..... 20

Gambar 2.12 Proses Pembangkitan PWM pada AVR..... 21

Gambar 2.13 Pembentukan PWM dengan *clear up dan clear down* ..... 23

Gambar 2.14 Arduino Uno R13 ..... 24

Gambar 3.1 *Flowchart* Sistem Penelitian..... 29

Gambar 3.2 Blok Diagram Alat..... 30

Gambar 3.3 Skema Rangkaian Alat..... 32

Gambar 3.4 Desain Alat ..... 35

Gambar 4.1 Grafik Hubungan Tegangan *Output* dan *Duty Cycle*..... 42

Gambar 4.2 Grafik Tegangan Keluaran dengan Kontrol PID  $K_p$  5.5,  $K_i$  7.5  
dan  $K_d$  0 ..... 44

Gambar 4.3 Grafik Tegangan Keluaran dengan Kontrol PID  $K_p$  6,  $K_i$  8 dan  
 $K_d$  0 ..... 45

Gambar 4.4 Grafik Tegangan Keluaran dengan Kontrol PID  $K_p$  7,  $K_i$  9 dan  
 $K_d$  0 ..... 45

Gambar 4.5 Grafik Tegangan Keluaran dengan Kontrol PID  $K_p$  5.5,  $K_i$  8 . 46

<b>Gambar 4.6 Grafik Tegangan Keluaran dengan Kontrol PID Kp 6, Ki 8.5 .</b>	<b>47</b>
<b>Gambar 4.7 Grafik Tegangan Keluaran dengan Kontrol PID Kp 7, Ki 10 ..</b>	<b>48</b>
<b>Gambar 4.8 Grafik Tegangan Keluaran dengan Kontrol PID Kp 5.5, Ki 7.5 dan Kd 0.00001.....</b>	<b>49</b>
<b>Gambar 4.9 Grafik Tegangan Keluaran dengan Kontrol PID Kp 6, Ki 8 dan Kd 0.00001 .....</b>	<b>50</b>
<b>Gambar 4.10 Grafik Tegangan Keluaran dengan Kontrol PID Kp 7, Ki 9 dan Kd 0.00001 .....</b>	<b>51</b>
<b>Gambar 4.11 Grafik Hubungan Antara Tegangan Keluaran dan <i>Duty Cycle</i> .....</b>	<b>56</b>
<b>Gambar 4.12 Grafik Hubungan antara Efisiensi dan Tahanan.....</b>	<b>58</b>

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada saat ini listrik menjadi kebutuhan energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Listrik dapat digunakan oleh manusia sebagai sumber energi berbagai alat untuk keperluan memudahkan kehidupan manusia dan banyak lagi. Dalam draft Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2015-2034 disebutkan bahwa apabila target porsi energi baru dan energi terbarukan menjadi paling sedikit sebesar 23 % pada tahun 2025 tetap harus tercapai walaupun realisasi pembangunan pembangkit yang memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti panas bumi, tenaga air, tenaga surya, dan lain-lain maupun jenis energi baru lainnya seperti hidrogen, gas metana batubara (*coal bed methane*), batu bara tercairkan (*liquified coal*), dan batubara tergaskan (*gasified coal*) belum dapat memenuhi target tersebut.

Hingga tahun 2025 direncanakan pengembangan potensi PLTS sebesar 5000 MW. Skema pengembangan PLTS tersebut dapat melalui program pemerintah melalui skema *feed in tariff* atau negosiasi dengan PLN, yang regulasinya saat ini masih dalam tahap finalisasi (PLN, 2016). Dalam kaitannya dengan hal tersebut perlu adanya pengembangan teknologi konverter energi listrik terbaru yang menghasilkan tingkat kehandalan yang baik, dewasa ini ilmuwan mengembangkan berbagai macam teknologi DC-DC konverter.

Teknologi DC-DC konverter adalah sirkuit yang paling banyak digunakan dalam elektronika daya. Efisiensi dalam pemanfaatan energi sangat diperlukan. Perbaikan dalam efisiensi energi umumnya dicapai dengan mengadopsi teknologi atau proses produksi yang lebih efisien (Diesendorf, 2007). Mereka dapat ditemukan di hampir setiap perangkat elektronik saat ini, karena semua komponen semikonduktor yang didukung oleh sumber DC. Mereka pada dasarnya digunakan dalam semua situasi dimana ada kebutuhan untuk menstabilkan tegangan DC diberikan ke nilai yang diinginkan. Hal ini umumnya dicapai dengan memotong dan menyaring tegangan input melalui tindakan beralih tepat, sebagian besar dilaksanakan melalui modulasi lebar pulsa (PWM) (Zuhal, 2000).

Dalam perkembangan teknologi konverter memiliki berbagai jenis dan berbagai keunggulan. Salah satu jenisnya adalah *multilevel boost converter*. Dari teknologi konverter kali ini agar mendapatkan tegangan output yang lebih tinggi dari pada tegangan inputnya. Kita ketahui bahwa konverter DC-DC tipe *switching* lebih banyak digunakan bila dibanding tipe linier untuk mengkonversi satu bentuk sumber listrik ke beberapa bentuk tegangan dan arus yang dibutuhkan oleh satu atau lebih beban listrik karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibanding linier (Rashid, 2011).

Dalam penerapannya penggunaan *multilevel boost converter* dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dari sumbernya yakni Baterai. Dengan konverter *boost* yang konvensional nilai dari efisiensi perubahan masih kurang. Untuk itu, maka menggunakan *multilevel boost converter* yakni dengan meningkatkan jumlah level kapasitor dan diodanya. Selain itu modifikasi dari *multilevel boost converter* dengan menggunakan switch untuk meningkatkan kualitas tegangan keluaran (Fanani, 2014).

Berdasarkan pada jurnal yang dikutip dari IEEE yang berjudul “A Novel High Gain Switch Inductor Multilevel Buck-Boost DC-DC Converter for Solar Applicants” karya Pandav Kiran Maroti dkk pada tahun 2014 yang membuat penelitian tentang kelebihan dari desain *multilevel buck-boost* DC-DC konverter menggunakan *switch inductor* untuk piranti yang berkaitan dengan PLTS. Dengan adanya penelitian tersebut, penelitian ini mencoba memodifikasi desain menjadi *multilevel boost konverter* dengan meningkatkan jumlah level kapasitor dan diodanya. Pada beban berupa resistor dengan variasi nilai resistor tersebut. Untuk bagian *switching* akan menggunakan MOSFET. Pada penelitian ini untuk mengontrol tegangan keluaran akan menggunakan Kontrol PID. Sehingga pada penelitian ini dapat mengetahui kinerja dari rancang bangun multilevel boost konverter dengan variasi pembebanan menggunakan kontrol PID.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari permasalahan diatas maka dapat disusun beberapa rumusan masalah yang menjadi fokus penelitian ini yang meliputi:

1. Bagaimanakah rancang bangun *multilevel boost converter*?
2. Bagaimana pengaruh tegangan, variasi beban pada *multilevel boost converter*?
3. Bagaimana Pengaruh kontrol PID dalam *multilevel boost converter*?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan bahasan pada penelitian ini, maka dibuatlah batasan masalah agar pembahasan tidak meluas yang meliputi:

1. Penelitian difokuskan pada *multilevel boost converter*.
2. Kenaikan tingkat variasi resistor disesuaikan dari pasar.
3. Penggunaan resistor dengan daya 1 Watt.
4. Pembahasan *multilevel boost converter* dengan kontrol PID difokuskan pada, tegangan keluaran.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai oleh peneliti dalam melakukan penelitian ini adalah:

1. Membuat rancang bangun multilevel boost converter dengan MOSFET sebagai switching.
2. Menganalisis beberapa variasi beban yang berkaitan dengan penggunaan switch pada multilevel boost converter dalam penggunaan kontrol PID.
3. Membandingkan beberapa variasi tegangan keluaran dalam penggunaan multilevel boost converter.

### 1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Mengetahui peforma *multilevel boost converter* tanpa menggunakan kontrol PID
2. Mengetahui peforma multilevel boost converter menggunakan kontrol PID
3. Mengetahui peforma multilevel boost converter dengan memberikan variasi pembebanan menggunakan kontrol PID

### 1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi adalah sebagai berikut:

#### BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.

#### BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang penjelasan teori yang menguraikan pendapat atau hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

#### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang di gunakan untuk menyelesaikan skripsi.

#### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan tentang laporan hasil penelitian yang membahas tentang analisa data dan hasil.

#### BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan yang ditarik dari rumusan masalah yang terjadi serta saran agar di penelitian selanjutnya dapat di berjalan lebih baik.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

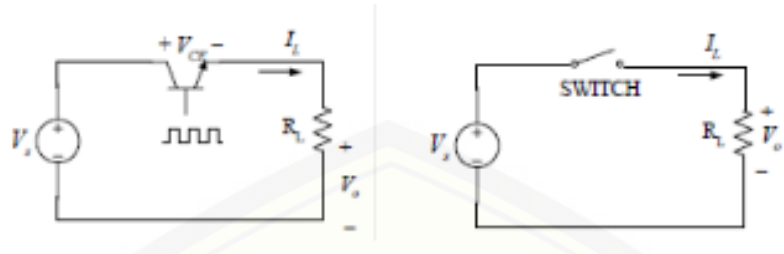
### 2.1 DC-DC Converter

Sebuah konverter DC-DC adalah sebuah sirkuit elektronik atau perangkat elektromekanis yang mengkonversi sumber arus searah (DC) dari satu tingkat tegangan ke tingkat tegangan yang lain. Sebelum mengenalnya teknologi DC-DC konverter salah satu cara untuk mengubah tegangan dari suplai DC ke tegangan yang lebih tinggi, untuk aplikasi daya rendah adalah dengan mengubahnya menjadi AC dengan *vibrator*, trafo *step-up* dan *rectifier*. Untuk aplikasi daya tinggi motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan generator tegangan yang diinginkan. Ini adalah prosedur yang relatif tidak efisien dan mahal yang digunakan. Sementara itu untuk mendapatkan tegangan yang lebih rendah dari yang lebih tinggi dengan sirkuit elektronik linear, atau bahkan resistor, metode ini hilang kelebihan sebagai panas. konversi hemat energi hanya menjadi mungkin dengan solid-state sirkuit *switch-mode*. (Zuhal, 2000)

*DC-DC Converter* dibagi dua menurut cara pengolahan daya yakni tipe linier dan tipe peralihan (*switching*). Masing-masing tipe memiliki kelebihan dan kekurangannya, dalam perkembangannya tipe peralihan lebih populer karena kelebihannya dalam merubah daya jauh lebih efisien dan pemakaian komponen yang ukurannya lebih kecil. Konverter DC-DC tipe peralihan atau dikenal dengan DC Chopper banyak digunakan terutama untuk penyediaan tegangan keluaran DC yang bervariasi besarnya sesuai dengan permintaan pada beban. Daya masukan dari proses DC-DC tersebut adalah berasal dari sumber daya DC yang biasanya memiliki tegangan masukan yang tetap. Pada dasarnya, keluaran tegangan keluaran DC yang ingin dicapai adalah dengan cara pengaturan lamanya waktu penghubungan antara sisi keluaran dan sisi masukan pada rangkaian yang sama. Komponen yang digunakan untuk *switch* adalah Tiristor, MOSFET, IGBT dan Transistor. Secara umum ada dua fungsi pengoperasian dari DC Chopper yaitu penaikan tegangan dimana tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan, dan penurunan tegangan dimana tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukan (Pujiono, 2012).



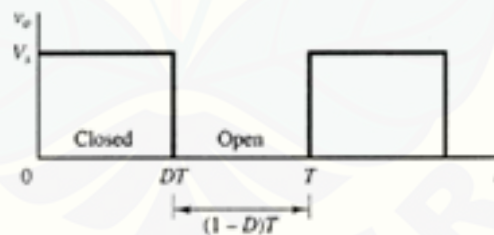
Prinsip dari cara kerja DC-DC converter adalah dengan mengasumsikan transistor sebagai saklar dengan gambar dibawah :



Gambar 2.1 DC-DC Converter Tipe Peralihan (Switch)

(Sumber: [www.polman-babel.ac.id/konverter](http://www.polman-babel.ac.id/konverter), diakses terakhir tanggal 4 desember 2017)

Pada gambar 2.1 diatas transistor sebagai switch yang dapat dibuka (*off*) dan ditutup (*on*). Dengan asumsi bahwa *switch* tersebut ideal, jika *switch* ditutup maka tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan, sedangkan jika *switch* dibuka maka tegangan keluaran akan menjadi nol. Dengan demikian tegangan keluaran yang dihasilkan akan berbentuk pulsa seperti pada gambar 2.2



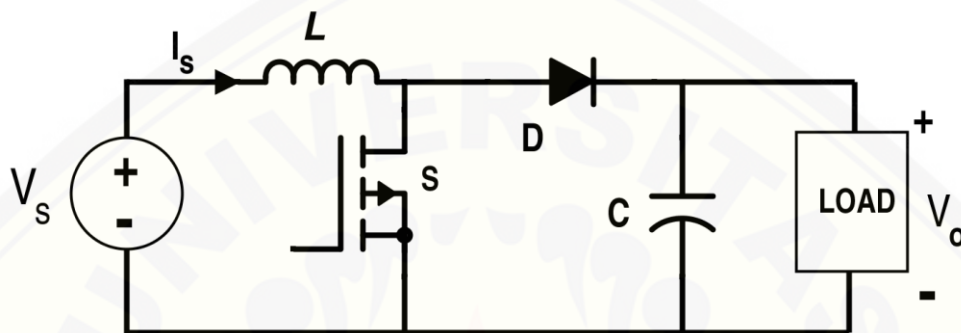
Gambar 2.2 Besaran Tegangan Keluaran Berbentuk Pulsa

(Sumber: [www.polman-babel.ac.id/konverter](http://www.polman-babel.ac.id/konverter), diakses terakhir tanggal 4 desember 2017)

Dari persamaan di atas terlihat bahwa tegangan keluaran DC dapat diatur besarnya dengan menyesuaikan parameter D. Parameter D dikenal sebagai *Duty ratio* yaitu rasio antara lamanya waktu *switch* ditutup (*t on*) dengan perioda T dari pulsa tegangan keluaran dengan  $0 \leq D \leq 1$ . Parameter f adalah frekuensi peralihan (*switching frequency*) yang digunakan dalam mengoperasikan *switch*.

### 2.1.1 Boost Converter

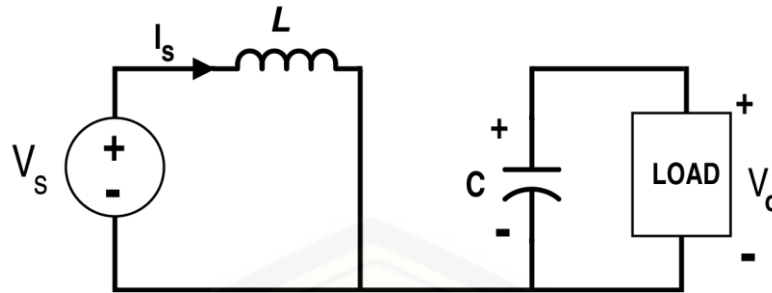
*Boost converter* adalah konverter untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi daripada tegangan masuknya. Konverter ini banyak dimanfaatkan untuk aplikasi pembangkit listrik tenaga matahari dan pembangkit listrik tenaga angin. Komponen utamanya pada umumnya menggunakan MOSFET, dioda, induktor dan kapasitor. Untuk gambar rangkaian *boost converter* seperti terlihat pada gambar di bawah



Gambar 2.3 Rangkaian *Boost Converter*

(Sumber: [www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/4A-Converter-in-Equilibrium](http://www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/4A-Converter-in-Equilibrium), diakses terakhir tanggal 5 desember 2017)

Pada *boost converter* terdapat dua kondisi yakni saat saklar MOSFET pada kondisi tertutup, arus akan mengalir ke induktor sehingga menyebabkan energi yang tersimpan di induktor naik. Saat saklar MOSFET terbuka, arus induktor ini akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi akan tersimpan dalam induktor akan turun. Pada gambar di bawah adalah menunjukkan keadaan pertama ketika saklar hidup atau tertutup. Sebuah kapasitor dapat ditambahkan ke rangkaian untuk meratakan tegangan keluaran. Komponen yang berubah dari tegangan keluaran disebut riak (*ripple*).



Gambar 2.4 Rangkaian *Boost Converter* saat Saklar Posisi Tertutup  
 (Sumber: [www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/4A-Converter-in-Equilibrium](http://www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/4A-Converter-in-Equilibrium), diakses terakhir tanggal 5 desember 2017)

Pada saat saklar kondisi tertutup dapat diketahui bahwa,

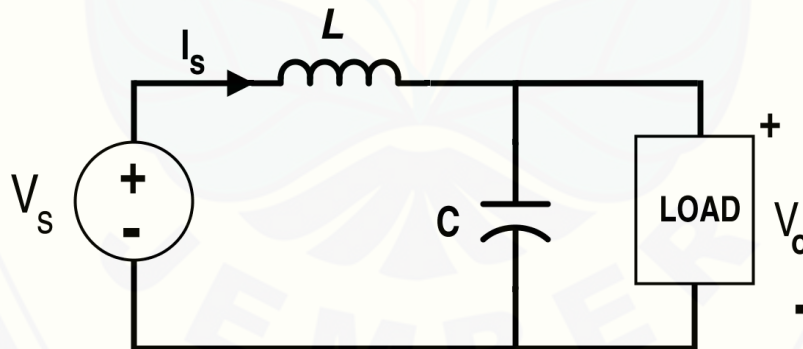
$$V_s = V_L \dots\dots\dots (2.1)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_s = \text{Tegangan sumber konstan}$$

$$\frac{di}{dt} = \text{Konstan}$$

Arus meningkat dengan kemiringan yang konstan

Selanjutnya adalah pada saat kondisi saklar terbuka rangkaiannya seperti gambar di bawah



Gambar 2.5 Rangkain *Boost Converter* saat Saklar Posisi Terbuka  
 (Sumber: [www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/4A-Converter-in-Equilibrium](http://www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/4A-Converter-in-Equilibrium), diakses terakhir tanggal 5 desember 2017)

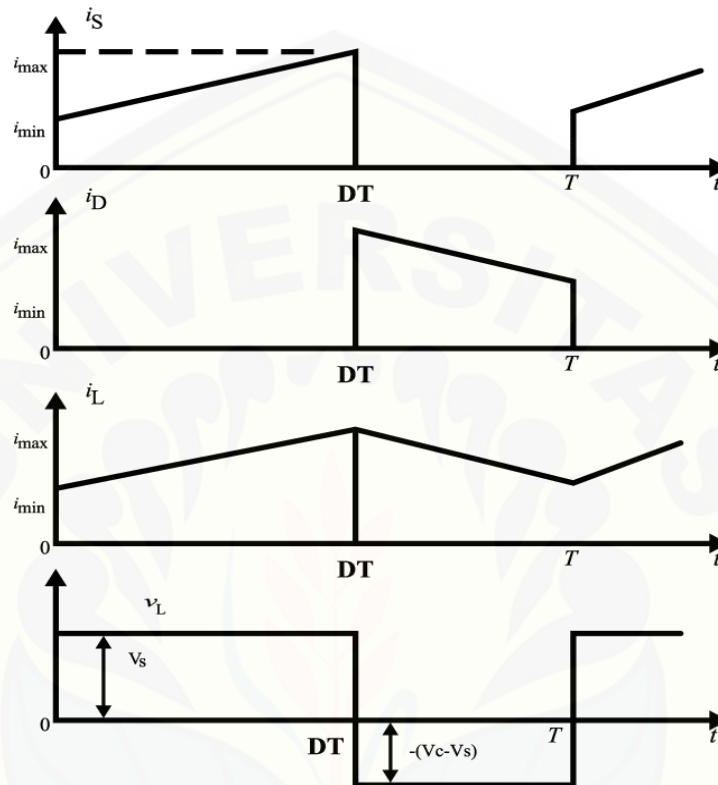
Pada saat saklar kondisi terbuka dapat diketahui bahwa,

$$V_s = V_L + V_c \dots\dots\dots (2.2)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_s - V_c \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{(V_S - V_C)}{L} \dots\dots\dots (2.4)$$

Bentuk gelombang dari tegangan dan arus untuk siklus periode pertama ditunjukkan pada gambar dibawah.



Gambar 2.6 Bentuk Gelombang dari Tegangan dan Arus untuk Siklus Periode Pertama *Boost Converter*

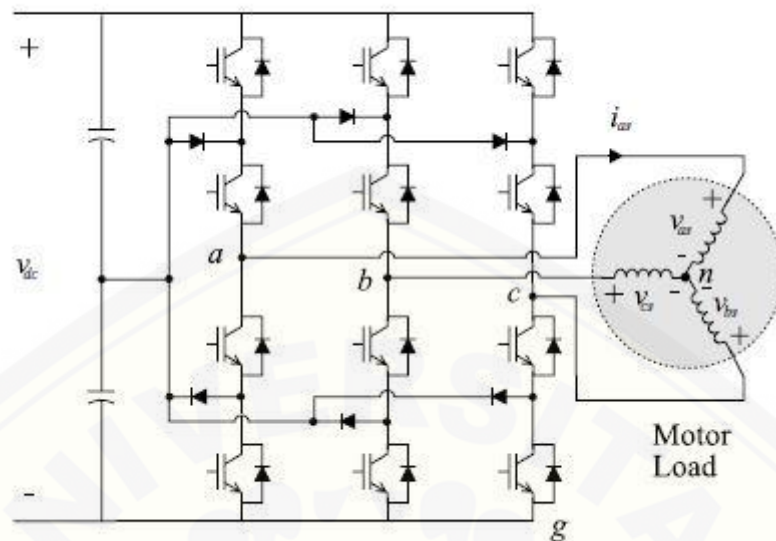
(Sumber: [www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/4A-Converter-in-Equilibrium](http://www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/4A-Converter-in-Equilibrium), diakses terakhir tanggal 5 desember 2017)

Pada gambar diatas arus *supply* ( $i_s$ ), Arus dioda ( $i_D$ ), Arus induktor ( $i_L$ ), Tegangan induktor ( $V_L$ ) pada tiap masing masing komponen *boost converter*.

## 2.2 *Multilevel Converter*

*Multilevel power converter* atau konverter daya bertingkat adalah suatu konsep umum melibatkan pemanfaatan jumlah yang lebih tinggi dari *switch* semikonduktor aktif untuk melakukan daya pada tahap tegangan kecil. Ada beberapa keuntungan dari metode ini bila dibandingkan dengan dua level atau tiga level, produksi dari kualitas bentuk gelombang daya yang lebih tinggi dan juga mengurangi  $\frac{dv}{dt}$  pada beban. Disini yang dimaksud dengan  $\frac{dv}{dt}$  adalah tingkat sesaat perubahan tegangan dari waktu ke waktu atau laju perubahan tegangan. Lalu, keuntungannya juga mengurangi hal yang berkaitan dengan kompatibilitas elektromagnetik atau *electromagnetic compatibility* (EMC). Fitur lain dari *multilevel converter* adalah semikonduktor akan disusun dengan tipe seri, yang memungkinkan beroperasi pada tegangan yang lebih tinggi. Koneksi tipe seri biasanya dibuat dengan mengapit dioda yang menghilangkan kemungkinan adanya tegangan lebih. Selanjutnya, apabila *switch* tidak dipasang secara seri akan menyebabkan proses *switching* berjalan kurang baik. Yang mana dapat menurunkan frekuensi *switching* dengan demikian timbulah kerugian di sisi *switching*. Salah satu kelemahan dari *multilevel power converter* adalah jumlah dari *switch* semikonduktor yang digunakan (Johnson, 2011)

Beberapa topologi paling banyak digunakan *multilevel converter* antara lain *diode-clamped*, *flying capacitor*, *cascade H-bridge*, *multilevel H-bridge*. *Diode-clamped multilevel converter* adalah salah satu jenis *multilevel converter* yang paling banyak digunakan. Gambar di bawah adalah salah satu contoh berkaitan dengan *three level*



Gambar 2.7 *Three-level Converter Switching States*

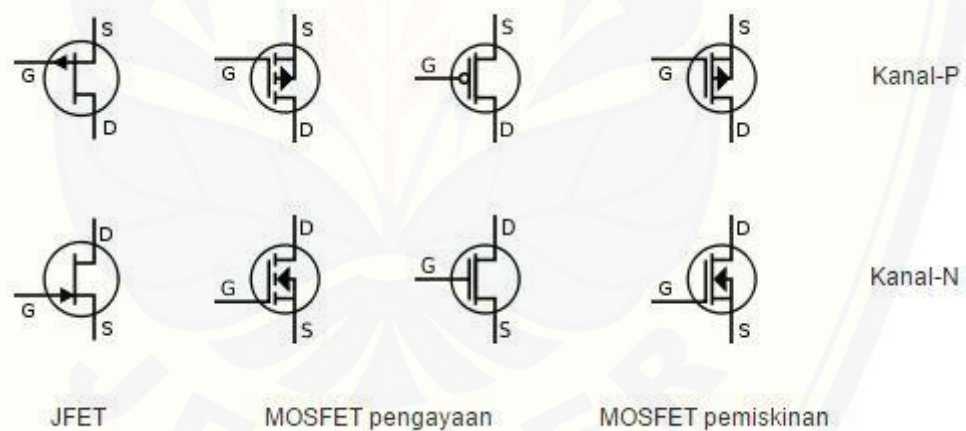
(Corzine, 2002)

Pada gambar di atas menunjukkan struktur dari *three level converter* bila dibandingkan dengan topologi *two level converter* kita ketahui disana akan ada dua kali transistor lebih banyak serta dioda juga. Setelah kita ketahui tentang beberapa jenis dari topologi *multilevel converter* ada beberapa keuntungan dan kerugiannya, semoga dewasa ini penelitian tentang *multilevel converter* terus berkembang.

### 2.3 MOSFET

Transistor efek-medan semikonduktor logam-oksida (MOSFET) adalah satu jenis transistor efek medan. Prinsip kerja dari MOSFET pertama kali dicetuskan oleh Julius Edgar Lilienfeld pada tahun 1925. MOSFET terdapat dua tipe dari bahan yakni tipe N dan tipe P, disebut juga NMOSFET atau PMOSFET. *Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor* atau MOSFET merupakan salah satu jenis transistor yang memiliki impedansi masukan (*gate*) sangat tinggi, hampir tidak terhingga sehingga sering digunakan sebagai saklar elektronik. Bahan semikonduktor yang digunakan untuk membuat MOSFET adalah silikon, namun beberapa produsen IC, terutama IBM, mulai menggunakan campuran silikon dan germanium (SiGe) sebagai kanal MOSFET (Lowenberg, 1995).

Ada beberapa macam simbol dari MOSFET Desain dasar umumnya garis untuk saluran dengan kaki sumber dan cerat meninggalkannya di setiap ujung dan membelok kembali sejajar dengan kanal. Garis lain diambil sejajar dari kanal untuk gerbang. Kadang-kadang tiga segmen garis digunakan untuk kanal peranti moda pengayaan dan garis lurus untuk moda pemiskinan. Sambungan badan jika ditampilkan digambar tersambung ke bagian tengah kanal dengan panah yang menunjukkan PMOS atau NMOS. Panah selalu menunjuk dari P ke N, sehingga NMOS (kanal-N dalam sumur-P atau substrat-P) memiliki panah yang menunjuk kedalam (dari badan ke kanal). Jika badan terhubung ke sumber (seperti yang umumnya dilakukan) kadang-kadang saluran badan dibelokkan untuk bertemu dengan sumber dan meninggalkan transistor. Jika badan tidak ditampilkan (seperti yang sering terjadi pada desain IC desain karena umumnya badan bersama) simbol inversi kadang-kadang digunakan untuk menunjukkan PMOS, sebuah panah pada sumber dapat digunakan dengan cara yang sama seperti transistor dwikutub (keluar untuk NMOS, masuk untuk PMOS).



Gambar 2.8 Simbol MOSFET

(Sumber: [id.wikipedia.org/wiki/MOSFET](https://id.wikipedia.org/wiki/MOSFET), diakses terakhir tanggal 5 desember 2017)

Untuk simbol yang memperlihatkan saluran badan, di sini dihubungkan internal ke sumber. Ini adalah konfigurasi umum, namun tidak berarti hanya satu-satunya konfigurasi. Pada dasarnya, MOSFET adalah peranti empat saluran, dan di sirkuit terpadu banyak

MOSFET yang berbagi sambungan badan, tidak harus terhubung dengan saluran sumber semua transistor.

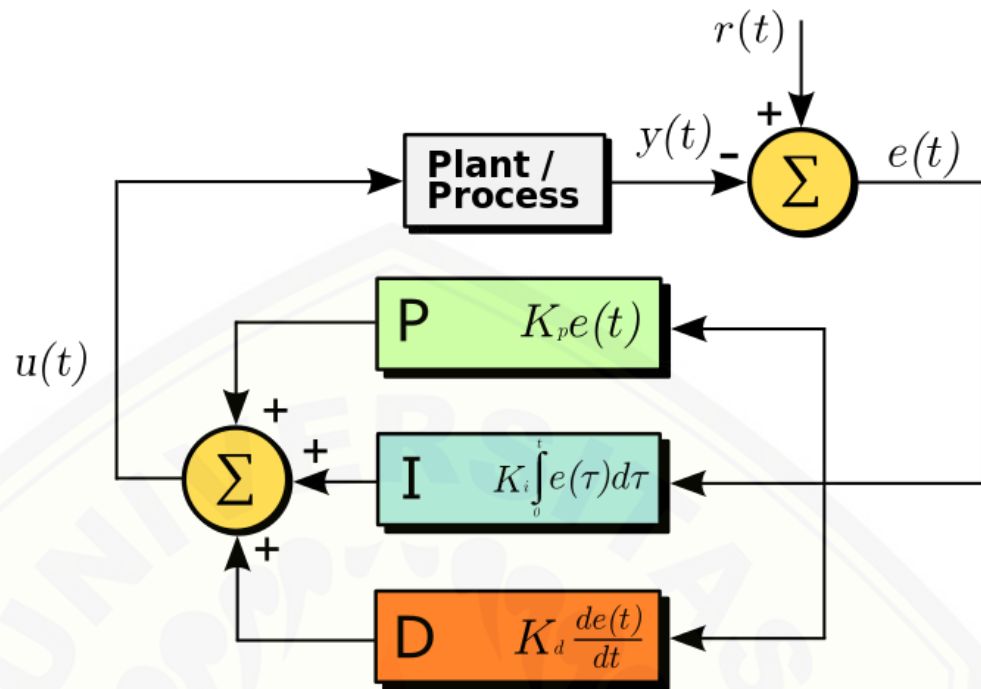
Dengan menggunakan MOSFET memungkinkan untuk menghubungkan semua jenis gerbang logika. Dengan menjadikan MOSFET sebagai saklar, maka dapat digunakan untuk mengendalikan beban dengan arus yang tinggi dan biaya yang lebih murah daripada menggunakan transistor bipolar. Untuk membuat MOSFET sebagai saklar maka hanya menggunakan MOSFET pada kondisi saturasi (ON) dan kondisi *cut-off* (OFF).

## 2.4 PID

Instrumentasi dan kontrol industri tentu tidak lepas dari sistem instrumentasi sebagai pengontrol yang digunakan dalam keperluan pabrik. Sistem kontrol pada pabrik tidak lagi manual seperti dahulu, tetapi saat sekarang ini telah dibantu dengan perangkat kontroler sehingga dalam proses produksinya suatu pabrik bisa lebih efisien dan efektif. Kontroler juga berfungsi untuk memastikan bahwa setiap proses produksi terjadi dengan baik (Karl, 2004).

PID (*Proportional-Integral-Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Pengontrol PID adalah pengontrol konvensional yang banyak dipakai dalam dunia industri. Pengontrol PID akan memberikan aksi kepada *Control Valve* berdasarkan besar error yang diperoleh. *Control valve* akan menjadi aktuator yang mengatur aliran fluida dalam proses industri yang terjadi Level air yang diinginkan disebut dengan *Set Point*. *Error* adalah perbedaan dari *Set Point* dengan level air aktual.





Gambar 2.9 Blok Diagram PID

(Sumber: [www.wikiwand.com/en/PID\\_controller](http://www.wikiwand.com/en/PID_controller), diakses terakhir 5 desember 2017)

Adapun persamaan Pengontrol PID adalah :

$$mv(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

$mv(t)$  = output dari pengontrol PID atau *Manipulated Variable*

$K_p$  = konstanta proporsional

$T_i$  = konstanta Integral

$T_d$  = konstanta Derivatif

$e(t)$  = error (selisih antara *set point* dengan level aktual)

Persamaan Pengontrol PID diatas dapat juga dituliskan sebagai berikut :

$$mv(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan

$$K_i = K_p \times \frac{1}{T_i} \text{ dan } K_d = K_p \times T_d$$

Untuk lebih memaksimalkan kerja pengontrol diperlukan nilai batas minimum dan maksimum yang akan membatasi nilai *Manipulated Variable* yang dihasilkan. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant (Karl, 2004).

#### 2.4.1 Kontrol Proporsional

Kontrol P jika  $G(s)=k_p$ , dengan  $k$  adalah konstanta. Jika  $u=G(s)\cdot e$  maka  $u=K_p\cdot e$  dengan  $K_p$  adalah Konstanta Proporsional.  $K_p$  berlaku sebagai Gain (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan kontrol P memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana kontrol P ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya rise time dan settling time. Pengontrol proporsional memiliki keluaran yang sebanding/proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya).

Ciri-ciri pengontrol proporsional :

- a. Jika nilai  $K_p$  kecil, pengontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat (menambah *rise time*).
- b. Jika nilai  $K_p$  dinaikkan, respon/tanggapan sistem akan semakin cepat mencapai keadaan mantapnya (mengurangi *rise time*).
- c. Namun jika nilai  $K_p$  diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil atau respon sistem akan berosilasi.
- d. Nilai  $K_p$  dapat diset sedemikian sehingga mengurangi *steady state error*, tetapi tidak menghilangkannya.

#### 2.4.2 Kontrol Intergratif

Pengontrol Integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol (*Error Steady State = 0* ). Jika sebuah pengontrol

tidak memiliki unsur integrator, pengontrol proporsional tidak mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol.

Jika  $G(s)$  adalah kontrol I maka  $u$  dapat dinyatakan sebagai  $u(t) = \int e(t) dt + K_i$  dengan  $K_i$  adalah konstanta Integral, dan dari persamaan di atas,  $G(s)$  dapat dinyatakan sebagai  $u = K_d \cdot \frac{d\epsilon}{dt}$ .

Jika  $e(T)$  mendekati konstan (bukan nol) maka  $u(t)$  akan menjadi sangat besar sehingga diharapkan dapat memperbaiki *error*. Jika  $e(T)$  mendekati nol maka efek kontrol I ini semakin kecil. Kontrol I dapat memperbaiki sekaligus menghilangkan respon *steady-state*, namun pemilihan  $K_i$  yang tidak tepat dapat menyebabkan respon transien yang tinggi sehingga dapat menyebabkan ketidakstabilan sistem. Pemilihan  $K_i$  yang sangat tinggi justru dapat menyebabkan output berosilasi karena menambah orde system

Keluaran pengontrol ini merupakan hasil penjumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Jika sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, maka keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Sinyal keluaran pengontrol integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan / *error*.

Ciri-ciri pengontrol integral :

- a. Keluaran pengontrol integral membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon.
- b. Ketika sinyal kesalahan berharga nil, keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya.
- c. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai  $K_i$ .
- d. Konstanta integral  $K_i$  yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta  $K_i$  akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.

### 2.4.3 Kontrol Derivatif

Keluaran pengontrol diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran pengontrol juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi *step*), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi *ramp*), keluarannya justru merupakan fungsi step yang besar magnitudenya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi *ramp* dan factor konstanta  $K_d$ .

Sinyal kontrol  $u$  yang dihasilkan oleh kontrol D dapat dinyatakan sebagai  $G(s)=s.K_d$  Dari persamaan di atas, nampak bahwa sifat dari kontrol D ini dalam konteks “kecepatan” atau rate dari error. Dengan sifat ini ia dapat digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi error yang akan terjadi. Kontrol Derivative hanya berubah saat ada perubahan error sehingga saat error statis kontrol ini tidak akan bereaksi, hal ini pula yang menyebabkan kontroler Derivative tidak dapat dipakai sendiri

Ciri-ciri pengontrol derivatif :

- a. Pengontrol tidak dapat menghasilkan keluaran jika tidak ada perubahan pada masukannya (berupa perubahan sinyal kesalahan)
- b. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai  $K_d$  dan laju perubahan sinyal kesalahan.
- c. Pengontrol diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengontrol diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.
- d. Dengan meningkatkan nilai  $K_d$ , dapat meningkatkan stabilitas sistem dan mengurangi *overshoot*.

Berdasarkan karakteristik pengontrol ini, pengontrol diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil

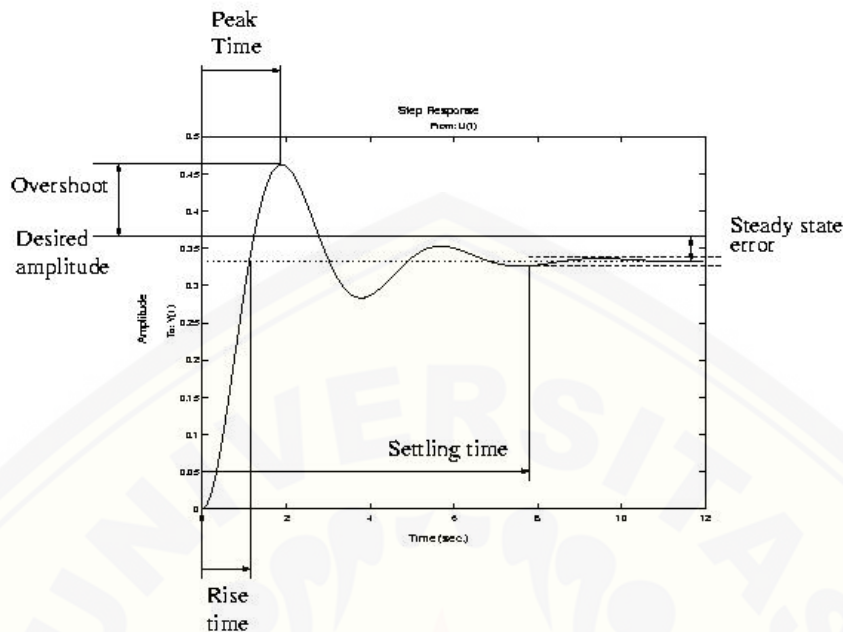
kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja pengontrol diferensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu pengontrol diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lainnya.

Efek dari setiap pengontrol Proporsional, Integral dan Derivatif pada sistem lup tertutup disimpulkan pada table berikut ini :

Tabel 2.1 Pengontrol Proporsional, Integral dan Derivatif pada Sistem Lup Tertutup

<i>Respon Lup tertutup</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Steady-State Error</i>
Proporsional	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan Kecil	Menurunkan/ mengurangi
Integral	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Mengeliminasi
Derivatif	Perubahan kecil	Menurunkan	Menurunkan	Perubahan kecil

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengontrol P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi pengontrol proporsional plus integral plus diferensial (pengontrol PID). Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan: mempercepat reaksi sebuah sistem mencapai *set point*-nya, menghilangkan *offset*, menghasilkan perubahan awal yang besar dan mengurangi *overshoot* (Crowe, 2005).



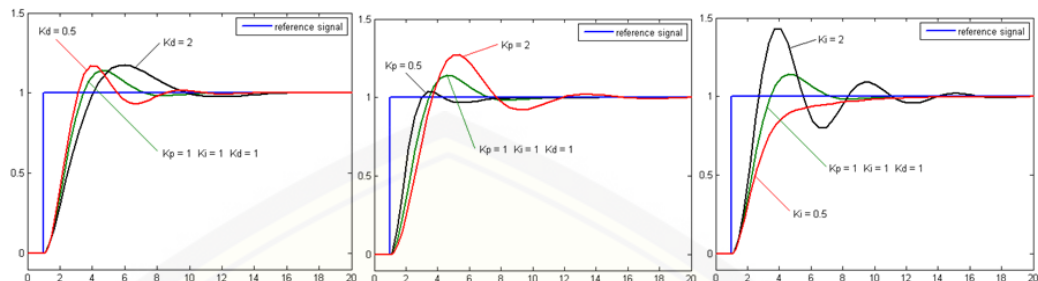
Gambar 2.10 Kontrol PID menurut definisi *Rise Time*, *Peak Time*, *Overshoot*, *Settling time* dan *Steady state error* dari gambar berikut.

(Sumber: controls.ame.nd.edu, diakses terakhir tanggal 5 desember)

Kita coba ambil contoh dari pengukuran temperatur, setelah terjadinya pengukuran dan pengukuran kesalahan maka kontroler akan memutuskan seberapa banyak posisi tap akan bergeser atau berubah. Ketika kontroler membiarkan valve dalam keadaan terbuka, dan bisa saja kontroler membuka sebagian dari valve jika hanya dibutuhkan air yang hangat, akan tetapi jika yang dibutuhkan adalah air panas, maka *valve* akan terbuka secara penuh. Ini adalah contoh dari *proportional control*. Dan jika ternyata dalam prosesnya air panas yang diharapkan ada datangnya kurang cepat maka controler bisa mempercepat proses pengiriman air panas dengan membuka valve lebih besar atau menguatkan pompa, inilah yang disebut dengan integral kontrol.

Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain.

Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.



Gambar 2.11 Beberapa grafik dapat menunjukkan bagaimana respon dari sitem terhadap perubahan  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$

(Sumber: [www.diydrones.com/profiles/blogs/arducopter-pid-autotuning-for-simulation-only](http://www.diydrones.com/profiles/blogs/arducopter-pid-autotuning-for-simulation-only), diakses terakhir tanggal 6 desember 2017)

PID Controller adalah controller yang penting yang sering digunakan dalam industri. Sistem pengendalian menjadi bagian yang tidak bisa terpisahkan dalam proses kehidupan ini khususnya dalam bidang rekayasa industri, karena dengan bantuan sistem pengendalian maka hasil yang diinginkan dapat terwujud. Sistem pengendalian dibutuhkan untuk memperbaiki tanggapan sistem dinamik agar didapat sinyal keluaran seperti yang diinginkan. Sistem kendali yang baik mempunyai tanggapan yang baik terhadap sinyal masukan yang beragam.

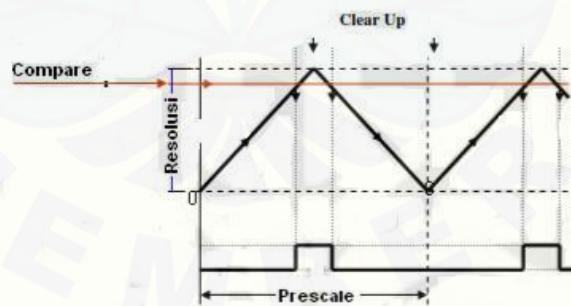
## 2.5 PWM

PWM (*Pulse Width Modulation*) adalah salah satu teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa (*duty cycle*) dengan nilai amplitudo dan frekuensi yang tetap. Satu siklus pulsa merupakan kondisi high kemudian berada di zona transisi ke kondisi low. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Duty cycle merupakan representasi dari kondisi logika high dalam suatu periode sinyal dan dinyatakan dalam bentuk (%) dengan range 0% sampai 100%, sebagai contoh jika sinyal berada dalam kondisi high terus menerus artinya memiliki duty cycle sebesar 100%. Jika waktu sinyal keadaan

high sama dengan keadaan low maka sinyal mempunyai duty cycle sebesar 50%. (Pujiono, 2012)

Aplikasi penggunaan PWM biasanya ditemui untuk pengaturan kecepatan motor dc, pengaturan cerah/ redup LED, dan pengendalian sudut pada motor servo. Contoh penggunaan PWM pada pengaturan kecepatan motor dc semakin besar nilai duty cycle yang diberikan maka akan berpengaruh terhadap cepatnya putaran motor. Apabila nilai *duty cycle*-nya kecil maka motor akan bergerak lambat.

Metoda digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut, misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak  $2^8 = 256$  variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai yang mewakili *duty cycle* 0 – 100 % dari keluaran PWM tersebut. PWM dalam mikrokontroler AVR dibangkitkan oleh *timer*, pada mikrokontroler jenis AVR Atmega 16 memiliki 3 buah timer di mana 2 timer 8 bit dan sebuah timer 16 bit. Proses pembangkitan sinyal PWM pada mikrokontroler AVR dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.12 Proses Pembangkitan PWM pada AVR

(Santoso, 2015)



Berdasarkan gambar diatas terdapat beberapa parameter dimana parameter tersebut mempengaruhi nilai dari PWM. Parameter ini adalah:

#### 1. Resolusi

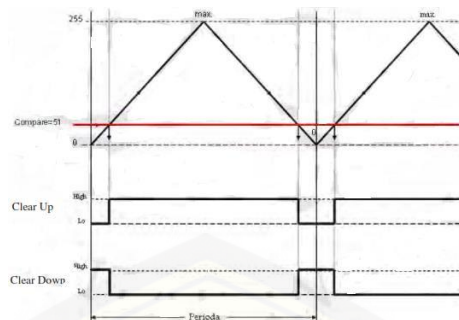
Resolusi adalah jumlah variasi perubahan dalam PWM tersebut, misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan sebanyak  $2^8 = 256$  variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai.

#### 2. Compare

Compare adalah nilai pembanding yang dijadikan referensi untuk menentukan besar *duty cycle* dari PWM. Nilai compare bervariasi sesuai dengan resolusi dari PWM tersebut. Pada gambar 2.12 nilai *compare* ditandai dengan garis warna merah, dimana posisinya diantara dasar segitiga dan ujung segitiga.

#### 3. Clear

Clear digunakan untuk penentuan jenis komparator apakah komparator *inverting* atau *non-inverting*. Dari gambar 2.13 bila PWM diatur pada *clear down*, berarti apabila garis segitiga berada dibawah garis merah (*compare*) maka PWM akan mengeluarkan logika 1. Dan sebaliknya apabila garis segitiga berada diatas garis merah (*compare*) maka PWM akan mengeluarkan logika 0. Sehingga lebar sempitnya logika 1 ditentukan oleh posisi *compare*, lebar sempitnya logika 0 itulah yang menjadi nilai keluaran PWM dan kejadian ini terjadi secara *harmonic* terus-menerus. Maka dari itu nilai *compare* inilah yang dijadikan nilai *duty cycle* PWM. *Clear up* adalah kebalikan (*invers*) dari *clear down* pada keluaran logikanya. Untuk lebih jelas silahkan lihat gambar 2.13



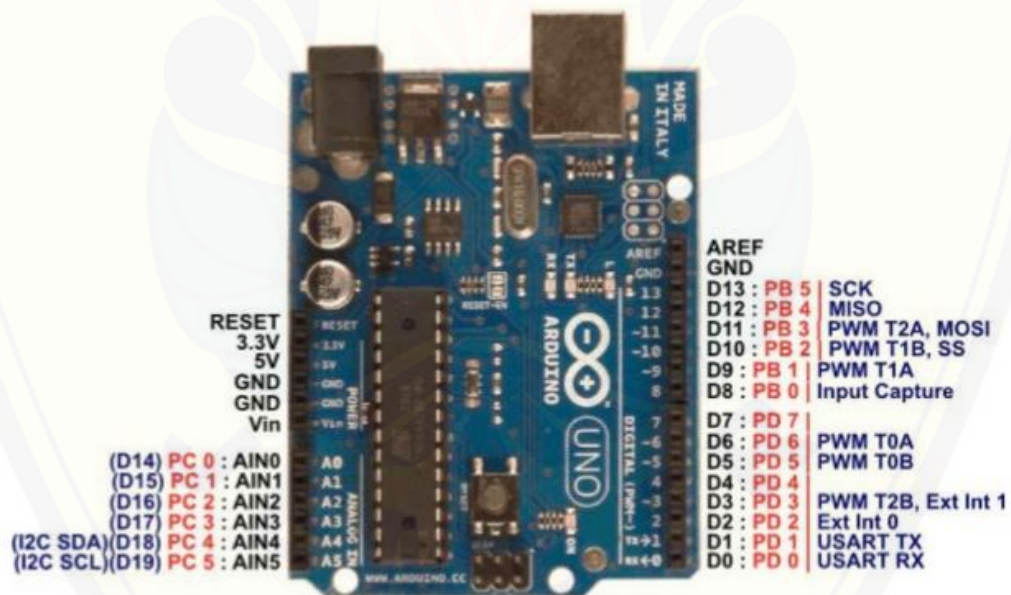
Gambar 2.13 Pembentukan PWM dengan *clear up* dan *clear down*  
(Santoso, 2015)

## 2.6 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P. Arduino Uno memiliki 14 digital pin *input / output* (atau biasa ditulis I/O, dimana 14 pin diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM antara lain pin 0 sampai 13), 6 pin input analog, menggunakan crystal 16 MHz antara lain pin A0 sampai A5, koneksi USB, jack listrik, *header* ICSP dan tombol *reset*. Hal tersebut adalah semua yang diperlukan untuk mendukung sebuah rangkaian mikrokontroler. Spesifikasi arduino uno R3 dapat dilihat pada tabel 2.2 dan arduino uno R3 dapat dilihat pada gambar 2.14

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno R3

Mikrokontroler	ATmega328
Operasi Tegangan	5 Volt
Input Tegangan	7-12 Volt
Pin I/O Digital	14
Pin Analog	6
Arus DC tiap pin I/O	50 mA
Arus DC keika 3.3 V	50 mA
Memori Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan Clock	16 MHz



Gambar 2.14 Arduino Uno R13

(Sumber: <https://www.arduino.cc/>, diakses terakhir tanggal 5 desember 2017)

### **BAB 3. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Adapun tempat dan waktu penelitian, pengujian dan analisis dilakukan secara umum di:

Tempat : Lab. Sistem Tenaga Fakultas Teknik Universitas Jember  
Alamat : Jl. Slamet Riyadi No. 62, Patrang, Kabupaten Jember  
Waktu : Februari 2017 – April 2017

#### **3.2 Tahapan Penelitian**

Dalam penelitian yang akan dilakukan terdapat serangkaian tahap yang harus dilewati demi mencapai tujuan penelitian yang diharapkan. Diantara tahap – tahap dalam penelitian ini secara garis besarnya meliputi:

##### **1. Tahap Persiapan**

Dalam tahap ini hal yang perlu diperhatikan adalah memperkirakan komponen apa saja yang nantinya akan digunakan untuk melakukan pengujian pengaruh komponen terhadap rancang bangun multilevel boost converter.

##### **2. Tahap Studi Literatur**

Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya, buku maupun internet untuk mengetahui karakteristik, prinsip kerja serta teori yang menunjang penelitian. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan petunjuk dan dapat dijadikan landasan teori dalam penelitian.

##### **3. Tahapan Perancangan**

Tahap ini adalah tahap untuk merancang bagaimana multilevel boost converter dapat bias terangkai dan dapat bekerja dengan spesifikasi komponen yang telah ditentukan sebelumnya.

##### **4. Tahap Uji Karakteristik**

Tahap pengambilan data sebelum penggunaan kontrol PID, dengan tegangan masukan dari power supply akan diuji apakah konverter dapat bekerja.

Untuk mengatur duty cycle akan menggunakan function generator dan tegangan keluaran ditampilkan menggunakan multimeter.

#### 5. Tahap pengambilan data

Setelah tahap – tahap bagian sebelumnya dilakukan dan tidak terdapat gangguan dalam tiap komponen maka tahap yang selanjutnya adalah tahap pengambilan data yang mana sebelum penggunaan kontrol PID berupa duty cycle, tegangan dan arus. Untuk pengambilan data selanjutnya menggunakan kontrol PID berupa data tegangan, arus, duty cycle dan daya.

#### 6. Analisa data

Analisa data dilakukan setelah mendapatkan hasil data dari data yang didapat yaitu membandingkan performa penggunaan kontrol PID dan tanpa menggunakan kontrol PID. Dilakukan juga pengambilan data pada variasi pembebanan.

#### 7. Pengambilan kesimpulan

Penarikan kesimpulan diambil dari hasil analisis yang telah melalui beberapa kali uji sehingga mendapatkan hasil berdasarkan tujuan penelitian yaitu arus, tegangan, *duty cycle* dan variasi pembebanan tanpa dan menggunakan kontrol PID.

### 3.3 Perencanaan Jadwal Penelitian

Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan															
		Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan																
2	Studi Literatur dan Perumusan Masalah																
3	Penentuan komponen pada konverter																
4	Perancangan dan pembuatan simulasi skema konverter																
5	Pembuatan rancang bangun konverter																
6	Pengambilan dan perhitungan data dari konverter																
7	kesimpulan																
8	Penulisan laporan																

### 3.4 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang perlu dipersiapkan untuk melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

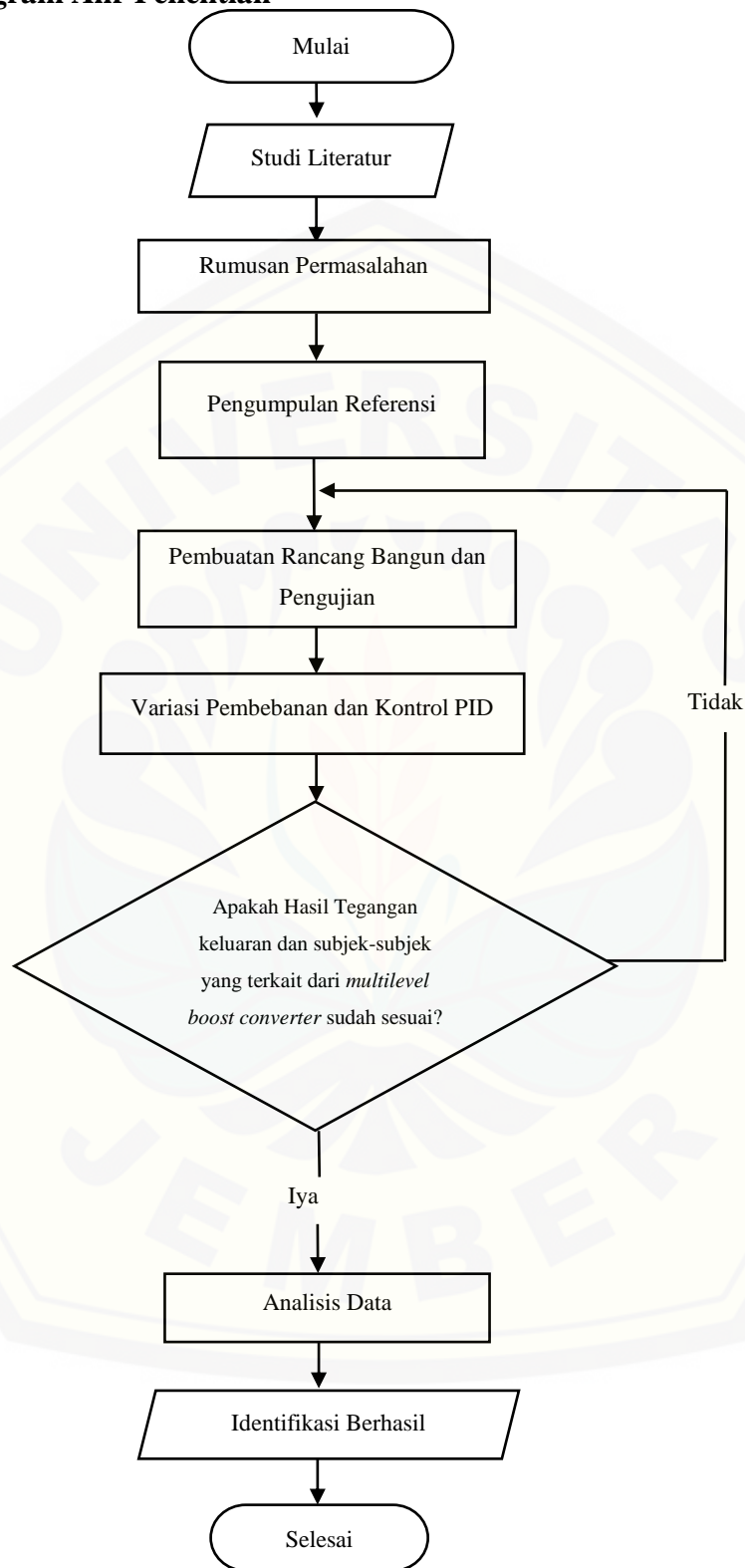
Alat :

- a. Alat
  1. PC/Laptop
  2. Proteus
  3. Power Supply
  4. Avometer

5. Obeng
  6. Arduino Uno
  7. *Function Generator*
- b. Bahan
1. Mosfet
  2. Resistor
  3. Dioda
  4. Kapasitor
  5. Induktor



### 3.5 Diagram Alir Penelitian

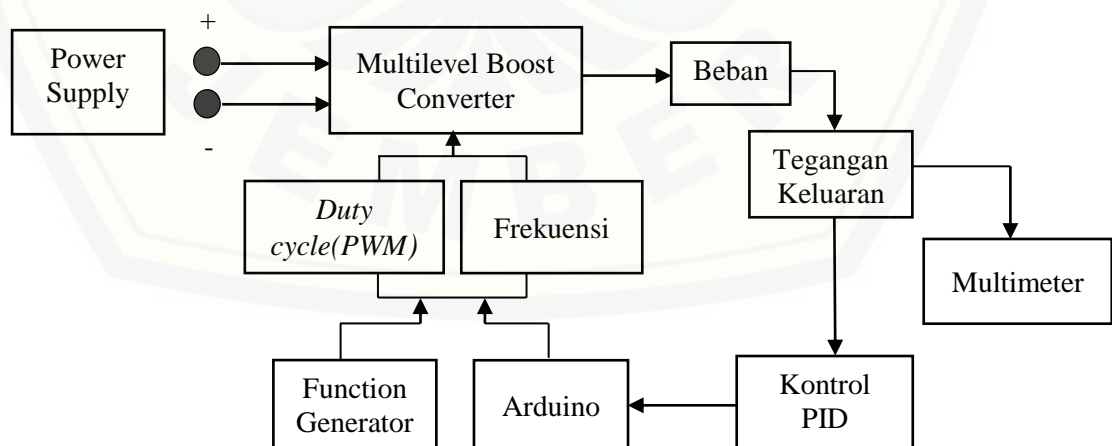


Gambar 3.1 *Flowchart* Sistem Penelitian



Pada *Flowchart* diatas menjelaskan alur atau mekanisme dari penelitian, yaitu dimulai dari studi literatur dari penelitian sebelumnya dengan topik yang sama melalui beberapa jurnal sehingga mendapatkan rumusan masalah. Setelah dilakukan perencanaan selanjutnya adalah melakukan pengumpulan referensi tentang rancang bangun *multilevel boost converter* mulai dari perhitungan komponen dan spesifikasinya. Lalu, dilakukan adalah tahap pembuatan rancang bangunya. Jika rancang bangunya telah sesuai dengan yang telah direncanakan, maka akan dilakukan variasi dari pembebanan dan juga pemberian kontrol PID. Uji dari *multilevel boost converter* adalah keluaran tegangan, arus dan daya pada *multilevel boost converter* dengan ditampilkan pada multimeter, jika sudah sesuai dengan yang diharapkan akan dilanjutkan ke tahap berikutnya dan jika belum sesuai akan kembali ke tahap pembuatan rancang bangun. Selanjutnya adalah melakukan analisis data yang diambil mulai dari tegangan, arus, daya, *duty cycle* dan lain-lain. Jika semua sudah sesuai dengan hasil yang diharapkan maka penelitian selesai. Data yang dihasilkan dari penelitaian nantinya akan menjadi acuan apabila terdapat suatu penelitian yang menyangkut topik pada penelitian ini.

### 3.6 Blok Diagram dan Perancangan Sistem

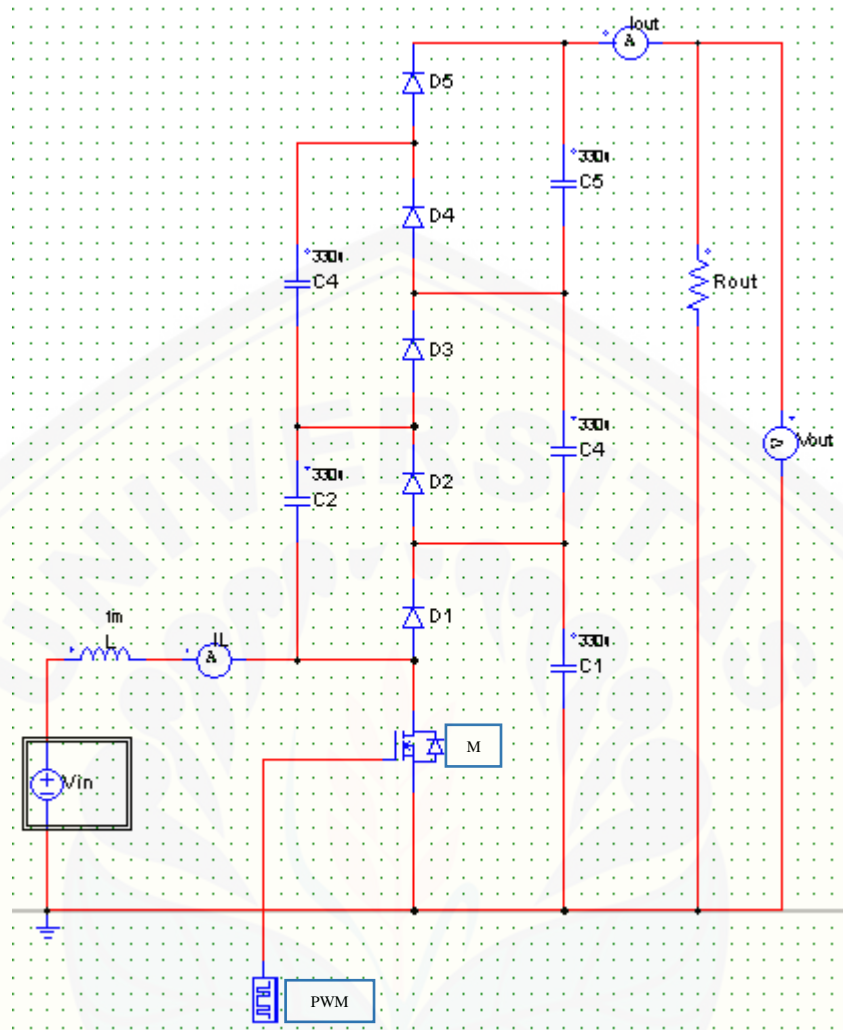


Gambar 3.2 Blok Diagram Alat

Prinsip kerja dari penelitian ini dapat digambarkan pada blok diagram diatas. Sumber DC yang berasal dari power supply sebesar 5 volt. Sumber DC akan masuk ke *multilevel boost converter*. Dari *multilevel boost converter* akan diatur perubahan *duty cycle* dan frekuensi. Pengaturan terbagi menjadi dua bentuk yakni menggunakan *function generator* dan arduino. Untuk pengaturan manual menggunakan *function generator* dan untuk pengaturan menggunakan kontrol PID menggunakan arduino. Selanjutnya pada beban akan di buat nilai yang bervariasi, Lalu dari beban akan diukur nilai tegangan keluaran dan variable lainnya menggunakan multimeter.

### 3.6.1 Skema Rangkaian

Berikut ini adalah gambar dari skema rangkaian *multilevel boost converter* yang akan dimodifikasi dengan penambahan jumlah kapasitor dan dioda dan variasi pembebanan.



Gambar 3.3 Skema Rangkaian Alat

Keterangan gambar 3.3

Vin	= 5 Volt	Mosfet (M)	= IRFZ44N
D1, D2, D3, D4, D5	= 1N4007	V	= Voltmeter
A	= Amperemeter	Induktor (L)	= 1 mH
C1, C2, C3, C4, C5	= 330 $\mu$ F	PWM	= Arduino/ Function Generator
Rout	= 1k $\Omega$ , 1k2 $\Omega$ , 1k5 $\Omega$ , 2k $\Omega$ , 2k2		

### 3.6.2 Perhitungan Komponen

Dalam perhitungan komponen dan spesifikasi dari *multilevel boost converter* adalah sebagai berikut:

- Frekuensi *switching* : 32 kHz
- Tegangan *output* : 20 V, 25 V, 30 V
- Tegangan *input* (max) : 6 V
- Tegangan *input* (min) : 4 V
- Arus beban : 1 A
- Delta arus *output* : 10% (0.1 A)
- Delta tegangan *output* : 1% (0.25 V)

1. *Duty cycle*:

$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{1}{1-D} \right) \times N \dots\dots\dots (3.1)$$

N adalah jumlah/ tingkat dari boost multilevel

$$D = \frac{(N \times V_{in}) - V_{out}}{-V_{out}} \dots\dots\dots (3.2)$$

(Rashid M. H., 2011)

Maka,

$$D_1 = \frac{(3 \times 5) - 30}{-30} = 0.5$$

$$D_2 = \frac{(3 \times 5) - 25}{-25} = 0.4$$

$$D_3 = \frac{(3 \times 5) - 20}{-20} = 0.25$$

Keterangan,

$D_1$  = *Duty cycle* untuk mencapai Vout 30 saat Vin 5 V

$D_2$  = *Duty cycle* untuk mencapai Vout 25 saat Vin 5 V

$D_3$  = *Duty cycle* untuk mencapai Vout 20 saat Vin 5 V

## 2. Nilai Induktor

$$L_{min} = \frac{R_{out} \times (1-D)^2}{2 \times N^2} \times D \times T \dots\dots\dots (3.3)$$

$L_{min}$  : Induktansi Induktor Minimal (H)

$R_{out}$  : Resistor Output ( $\Omega$ )

$D$  : *Duty cycle*

$T$  : Periode Switching (Hz)

$N$  : Jumlah/ Tingkat dari Boost Multilevel

(Rashid M. H., 2011)

Maka

$$L_{min1} = \frac{1000 \times (1-0.5)^2}{2 \times 3^2} \times 0,5 \times \frac{1}{32000}$$

$$L = 0.21 \text{ mH}$$

$$L_{min2} = \frac{1000 \times (1-0.4)^2}{2 \times 3^2} \times 0.4 \times \frac{1}{32000}$$

$$L = 0.25 \text{ mH}$$

$$L_{min3} = \frac{1000 \times (1-0.25)^2}{2 \times 3^2} \times 0.25 \times \frac{1}{32000}$$

$$L = 0.325 \text{ mH}$$

Maka dipilih nilai induktor sebesar 1 mH karena nilai ini berada diantara nilai induktansi minimal dan induktansi maksimal.

## 3. Nilai Kapasitor

$$C = \frac{I_o \times D}{f \times \Delta V_o} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana:

$C$  : Kapasitansi Kapasitor (F)

$I_o$  : Arus Output (A)

$\Delta v_o$  : *Ripple* tegangan (V)

$f$  : frekuensi (Hz)

(Rashid M. H., 2011)

Maka

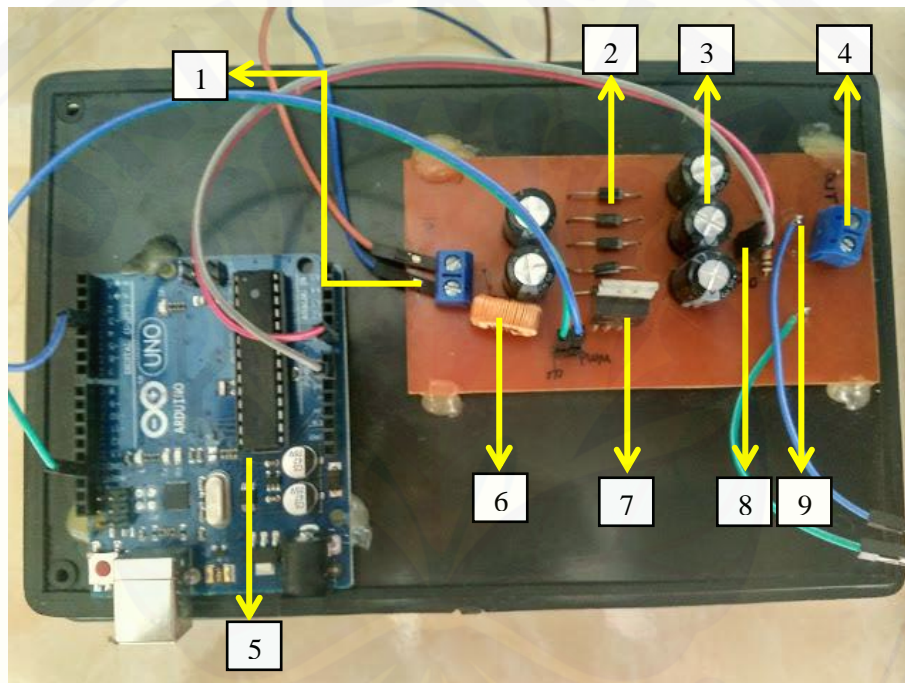
$$C_1 = \frac{1 \times 0.5}{32000 \times 0.25} = 62.5 \mu F$$

$$C_2 = \frac{1 \times 0.4}{32000 \times 0.25} = 50 \mu F$$

$$C_3 = \frac{1 \times 0.25}{32000 \times 0.25} = 31.25 \mu F$$

Maka dipilih nilai kapasitor dengan kapasitas 330 $\mu$ F karena nilai ini memenuhi mulai dari nilai minimal sampai maksimal.

### 3.6.3 Desain Alat



Gambar 3.4 Desain Alat

Keterangan gambar 3.1

- |                 |                          |
|-----------------|--------------------------|
| 1. <i>Input</i> | (5 V, <1 A)              |
| 2. Dioda        | (1N4007)                 |
| 3. Kapasitor    | (330 $\mu$ F)            |
| 4. Output       | (15 V, 20 V, 25 V, <1 A) |
| 5. Arduino      |                          |

6. Induktor (1 mH)
7. Mosfet (IRFZ44N)
8. Rangkaian Pembagi Tegangan
9. Rout (1k $\Omega$ , 1k2 $\Omega$ , 1k5 $\Omega$ , 2k $\Omega$ , 2k2)

### 3.7 Rencana Pengujian

Pengujian ini dimulai dengan pengujian tanpa menggunakan kontrol PID dalam mengatur *duty cycle* dan frekuensi, dari itu kita menggunakan *function generator* selanjutnya adalah menggunakan kontrol PID. Dan yang terakhir kita beri menggunakan kontrol PID dengan variasi pembebanan.

Tabel 3.2 Pengujian *Multilevel Boost Converter* Tanpa Menggunakan Kontrol PID

<i>Duty Cycle</i> (%)	Tegangan <i>Input</i> (Volt)	Arus <i>Input</i> (A)	Tegangan <i>Ouput</i> (Volt)	Arus <i>Output</i> (A)

Pada pengujian tanpa menggunakan kontrol PID dalam mengatur *duty cycle* dimulai dari kelipatan 10% sampai 100% dan frekuensi sebesar 32 kHz. Akan diambil data tegangan *input*, arus *input*, tegangan *output* dan arus *output*.

Tabel 3.3 Pengujian *Multilevel Boost Converter* Menggunakan Kontrol PID

Tegangan <i>Input</i> (V)	Tahanan (k $\Omega$ )	Arus <i>Input</i> (A)	Set Point Tegangan <i>Output</i> (volt)	Arus <i>Output</i> (mA)	Daya <i>Input</i> (watt)	Daya <i>output</i> (watt)	$\eta$ (%)	DC (%)

Pada pengujian menggunakan kontrol PID dalam mengatur *duty cycle* otomatis ter-*setting* dari *set point* tegangan keluaran dan akan dibuat variasi dari pembebanan untuk tegangan keluarannya. Untuk data yang akan diambil tegangan *input*, arus *output*, tegangan *output*, arus *output*, daya *input*, daya *output*, efisiensi, *duty cycle*, juga nanti akan diambil nilai kontrol PID.

### 3.7.1 Pengujian Dengan Perhitungan

Untuk mendapatkan perbandingan daya input kita lihat pada multimeter tegangan *output* dan pengukuran arus yang masuk pada Induktor untuk multilevel boost konverter diperoleh menggunakan rumus:

$$P_{input} = V_{input} \times I_{input} \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan:

$P_{input}$  = Daya masuk

$V_{input}$  = Tegangan masuk

$I_{input}$  = Arus yang masuk ke Induktor

Untuk mendapatkan daya *output* kita lihat pada multimeter tegangan *output* dan pengukuran arus yang masuk pada resistor sehingga dapat dihitung menggunakan rumus yang hampir sama sebelumnya (Fanani, 2014):



$$P_{output} = V_{output} \times I_{output} \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan:

$P_{output}$  = Daya keluar

$V_{output}$  = Tegangan keluar

$I_{output}$  = Arus yang masuk ke Resistor

(Fanani, 2014)

Untuk mendapatkan nilai efisiensi diperoleh dengan rumus perbandingan daya *output* dan *daya input*, seperti berikut:

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan:

$\eta$  = Efisiensi

$P_{output}$  = Daya keluar

$P_{input}$  = Tegangan keluar

(Fanani, 2014)

Tegangan *ripple* pada MLBC didesain tidak lebih dari 5%. Dari persamaan berikut dapat diketahui tegangan *ripple*

$$\Delta V_o = \frac{D \times V_o}{C \times f \times R_{out}} \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan:

$\Delta V_o$  = *Ripple* tegangan

$D$  = *Duty Cycle*

$V_o$  = Tegangan Keluaran

$C$  = Kapasitor

$f$  = Frekuensi

$R_{out}$  = Tahanan Keluaran

(Fanani, 2014)

Dan untuk subjek subjek yang tidak ada perhitungan otomatis terbaca seperti nilai tahanan, *duty cycle* dan set point tegangan untuk variasi pembebanan.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan analisa pada penelitian yang berjudul “Rancang Bangun *Multilevel Boost Converter* Dengan Variasi Pembebanan Menggunakan Kontrol PID” didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Perancangan *Multilevel Boost Converter* menggunakan kapasitor (C) sebesar 110  $\mu$ F dan nilai induktor 1 mH dengan beban hambatan bervariasi dan khusus untuk beban tetap sebesar 1 k $\Omega$  membutuhkan nilai frekuensi  $f$  32 Khz, Nilai *duty cycle* dengan tanpa menggunakan kontrol terbaik pada nilai *duty cycle* 100 % dengan nilai efisiensi sebesar 68 %. Kontrol PID digunakan sebagai kinerja peningkat optimal untuk tegangan keluaran *multilevel boost converter* didapatkan nilai parameter yang sesuai dengan sistem ini adalah  $K_p = 7$ ,  $K_i = 9$ ,  $K_d = 0.00001$  dengan nilai *rise time* 0.12, nilai *settling time* 3 detik, nilai *error steady-state* 0.24 % dan peak sebesar 23 volt.
2. Perbaikan kinerja tegangan keluaran menggunakan kontrol PID *multilevel boost converter* meningkat dengan pemberian beban 1 K $\Omega$ , tegangan masukan 5 volt dan variasi tegangan keluaran mulai dari sebesar 10 volt, 15 volt, 20 volt dan 25 volt. Efisiensi terbaik pada tegangan keluaran 25 volt dengan nilai efisiensi mencapai 59 %. Sedangkan untuk pengujian menggunakan variasi pembebanan mulai dari 1 k $\Omega$ , 1.2 k $\Omega$ , 1.5 k $\Omega$ , 2 k $\Omega$  dan 2.2 k $\Omega$  dengan tegangan masuk 5 volt dan tegangan keluaran tetap yakni 20 volt efisiensi kinerja *multilevel boost converter* terlihat cukup handal dengan nilai efisiensi diantara 60% sampai 70%. Dan untuk perbandingan tanpa menggunakan dan menggunakan kontrol PID tegangan keluaran mencapai nilai tertinggi 25 volt dengan efisiensi 59 % dibandingkan tanpa menggunakan control yakni 17.5 volt dengan efisiensi mencapai 55 %. Untuk kualitas tegangan sendiri menghasilkan *error steady state* yang cukup stabil.

#### 4.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, penulis memberikan saran untuk mengembangkan penelitian ini untuk penelitian berikutnya. Saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut.

1. Pada *multilevel boost converter* dapat diganti dengan tingkat level *boost* yang lebih dari 3 level atau lebih dari itu.
2. Kontrol PID dapat diganti dengan control PI atau PD sebagai perbandingan.
3. Kontrol *fuzzy logic* dapat digunakan untuk sebagai pengganti kontrol utama untuk menghasilkan pengujian tegangan keluaran pada *multilevel boost converter*.
4. Penyaluran tegangan keluaran dapat dikaitkan dengan perangkat berkebutuhan tegangan DC sebagai perluasan topik penelitian.
5. Beban dapat dibuat lebih dengan variasi pembebanan yang lebih banyak lagi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Arduino, C. (2016, 6 17). *https://www.arduino.cc*. Dipetik December 5, 2017, dari <https://www.arduino.cc>: <https://www.arduino.cc>
- Corzine. (2002). *Digital Power Electronics and Applications*. Elsevier: Elsevier Academic Press.
- Crowe, J. (2005). *PID Controls, Theory , Design and Tuning*. London: Springer.
- Diesendorf. (2007). *Efficiency of DC-DC converter*. Chicago: Expert .
- Editor Team of Web. (2015, Juni 16). [www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/4A-Converter-in-Equilibrium](http://www.allaboutcircuits.com/uploads/articles/4A-Converter-in-Equilibrium). Dipetik Desember 5, 2017, dari [www.allaboutcircuits.com](http://www.allaboutcircuits.com): <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/analysis-of-four-dc-dc-converters-in-equilibrium/>
- Fanani, A. Z. (2014). *Desain dan Simulasi Konverter Boost Multilevel sebagai Catu Daya Kendaraan Listrik*. Surabaya: Jurnal Teknik POMITS.
- Johnson. (2011, November 9). *www.circuitstoday.com*. Dipetik Desember 5, 2015, dari [www.circuitstoday.com/electronic-circuit-symbols](http://www.circuitstoday.com/electronic-circuit-symbols): [www.circuitstoday.com/electronic-circuit-symbols](http://www.circuitstoday.com/electronic-circuit-symbols)
- Karl, J. A. (2004). *Advanced PID Control*. Newyork: Instrument Society of America.
- Lowenberg, E. (1995). *Electronic Devices and Circuit Theory*. Jakarta: Erlangga.
- Pandav Kiran M, a. F. (2014). *A Novel High Gain Switch Inductor Multilevel Buck-Boost DC-DC Converter for Solar Applicants*. Chemai Tamil Nadu: School of Electrical Engineering VIT University.
- PLN. (2016). *RUPTL PLN Tahun 2016-2025*. Jakarta: PT PLN.
- Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. (2015, Mei 14). [www.polman-babel.ac.id/konverter](http://www.polman-babel.ac.id/konverter). Dipetik Desember 4, 2017, dari [www.polman-babel.ac.id](http://www.polman-babel.ac.id).
- Pujiono. (2012). *Rangkaian Elektronika Analog*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Rashid, M. H. (2011). *Power Electronics Handbook*. Oxford: Encyclopedias.
- Santoso, H. (2015). *Arduino untuk Pemula*. Jakarta: Elang Sakti.

Team, E. (2016, April 12). *[http://www.wikiwand.com/en/PID\\_controller](http://www.wikiwand.com/en/PID_controller)*. Dipetik Desember 5, 2017, dari [http://www.wikiwand.com/en/PID\\_controller](http://www.wikiwand.com/en/PID_controller).  
Zuhal. (2000). *Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia.



LAMPIRAN

TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS JEMBER

1. Perhitungan Efisiensi Pengujian Multilevel Boost Converter Tanpa Kontrol

a. Percobaan Pertama:

$$\begin{aligned}\eta_1 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.1}{0.25} \times 100 \% \\ &= 40 \%\end{aligned}$$

b. Percobaan Kedua:

$$\begin{aligned}\eta_2 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.147}{0.35} \times 100 \% \\ &= 42 \%\end{aligned}$$

c. Percobaan Ketiga:

$$\begin{aligned}\eta_3 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.225}{0.5} \times 100 \% \\ &= 45 \%\end{aligned}$$

d. Percobaan Keempat:

$$\begin{aligned}\eta_4 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.36}{0.75} \times 100 \% \\ &= 48 \%\end{aligned}$$

e. Percobaan Kelima:

$$\begin{aligned}\eta_5 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.425}{0.85} \times 100 \% \\ &= 50 \%\end{aligned}$$

f. Percobaan Keenam:

$$\begin{aligned}\eta_6 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.55}{0.1} \times 100 \% \\ &= 55 \%\end{aligned}$$

g. Percobaan Ketujuh:

$$\begin{aligned}\eta_7 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.725}{1.25} \times 100 \% \\ &= 58 \%\end{aligned}$$

h. Percobaan Kedelapan:

$$\begin{aligned}\eta_8 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.868}{1.4} \times 100 \% \\ &= 62 \%\end{aligned}$$

i. Percobaan Kesembilan:

$$\begin{aligned}\eta_9 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{1.007}{1.55} \times 100 \% \\ &= 65 \%\end{aligned}$$

j. Percobaan Kesepuluh:

$$\begin{aligned}\eta_{10} &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{1.19}{1.75} \times 100 \% \\ &= 68 \%\end{aligned}$$

## 2. Perhitungan Duty Cycle Untuk Variasi Tegangan Keluaran

a. Percobaan Pertama:

$$\begin{aligned}\text{Duty Cycle} &= \frac{\text{Nilai terbaca}}{255} \times 100 \% \\ &= \frac{20}{255} \times 100 \% \\ &= 8 \%\end{aligned}$$

b. Percobaan Kedua:

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle} &= \frac{\text{Nilai terbaca}}{255} \times 100 \% \\ &= \frac{39}{255} \times 100 \% \\ &= 15 \% \end{aligned}$$

c. Percobaan Ketiga:

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle} &= \frac{\text{Nilai terbaca}}{255} \times 100 \% \\ &= \frac{96}{255} \times 100 \% \\ &= 37 \% \end{aligned}$$

d. Percobaan Keempat:

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle} &= \frac{\text{Nilai terbaca}}{255} \times 100 \% \\ &= \frac{147}{255} \times 100 \% \\ &= 60 \% \end{aligned}$$

### 3. Perhitungan Efisiensi Multilevel Boost Converter Menggunakan Kontrol Dengan Variasi tegangan Keluaran

a. Percobaan Pertama:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.234}{0.527} \times 100 \% \\ &= 44 \% \end{aligned}$$

b. Percobaan Kedua:

$$\begin{aligned} \eta_2 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.315}{0.655} \times 100 \% \\ &= 48 \% \end{aligned}$$

c. Percobaan Ketiga:

$$\eta_3 = \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \%$$



$$= \frac{0.616}{1.135} \times 100 \%$$

$$= 54 \%$$

d. Percobaan Keempat:

$$\eta_4 = \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \%$$

$$= \frac{1.121}{1.875} \times 100 \%$$

$$= 59 \%$$

#### 4. Perhitungan Error Persen Nilai Resistor

a.  $E_1\% = \frac{x-y}{x} \times 100 \%$

$$= \frac{1-0.982}{1} \times 100 \%$$

$$= 1.8 \%$$

b.  $E_2\% = \frac{x-y}{x} \times 100 \%$

$$= \frac{1-0.982}{1} \times 100 \%$$

$$= 1.8 \%$$

c.  $E_3\% = \frac{x-y}{x} \times 100 \%$

$$= \frac{1-0.982}{1} \times 100 \%$$

$$= 1.8 \%$$

d.  $E_4\% = \frac{x-y}{x} \times 100 \%$

$$= \frac{1-0.982}{1} \times 100 \%$$

$$= 1.8 \%$$

e.  $E_5\% = \frac{x-y}{x} \times 100 \%$

$$= \frac{1-0.982}{1} \times 100 \%$$

$$= 1.8 \%$$

## 5. Perhitungan Duty Cycle Untuk variasi Pembebanan

a. Percobaan Pertama Resistor 1 k $\Omega$ :

$$\begin{aligned}\text{Duty Cycle} &= \frac{\text{Nilai terbaca}}{255} \times 100 \% \\ &= \frac{94}{255} \times 100 \% \\ &= 37 \%\end{aligned}$$

b. Percobaan Kedua Resistor 1.2 k $\Omega$ :

$$\begin{aligned}\text{Duty Cycle} &= \frac{\text{Nilai terbaca}}{255} \times 100 \% \\ &= \frac{75}{255} \times 100 \% \\ &= 30 \%\end{aligned}$$

c. Percobaan Ketiga Resistor 1.5 k $\Omega$ :

$$\begin{aligned}\text{Duty Cycle} &= \frac{\text{Nilai terbaca}}{255} \times 100 \% \\ &= \frac{92}{255} \times 100 \% \\ &= 36 \%\end{aligned}$$

d. Percobaan Keempat Resistor 2 k $\Omega$ :

$$\begin{aligned}\text{Duty Cycle} &= \frac{\text{Nilai terbaca}}{255} \times 100 \% \\ &= \frac{89}{255} \times 100 \% \\ &= 35 \%\end{aligned}$$

e. Percobaan Kelima Resistor 2.2 k $\Omega$ :

$$\begin{aligned}\text{Duty Cycle} &= \frac{\text{Nilai terbaca}}{255} \times 100 \% \\ &= \frac{87}{255} \times 100 \% \\ &= 34 \%\end{aligned}$$

## 6. Perhitungan efisiensi Multilevel Boost Converter Menggunakan Kontrol Dengan Variasi Pembebanan

a. Percobaan Pertama:

$$\begin{aligned}\eta_1 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.4012}{0.6} \times 100 \% \\ &= 67 \%\end{aligned}$$

b. Percobaan Pertama:

$$\begin{aligned}\eta_1 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.3486}{0.55} \times 100 \% \\ &= 63 \%\end{aligned}$$

c. Percobaan Pertama:

$$\begin{aligned}\eta_1 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.3018}{0.45} \times 100 \% \\ &= 67 \%\end{aligned}$$

d. Percobaan Pertama:

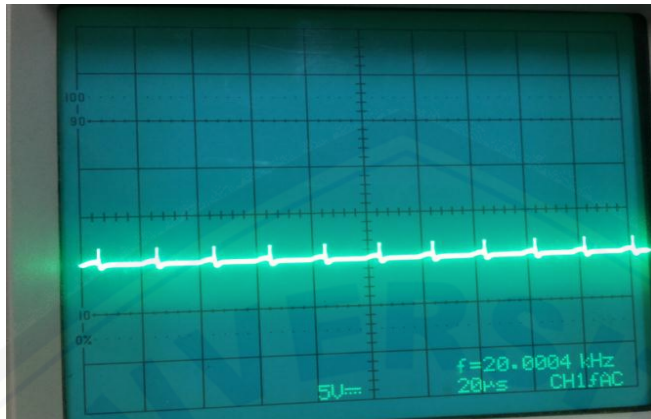
$$\begin{aligned}\eta_1 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.2052}{0.3} \times 100 \% \\ &= 68 \%\end{aligned}$$

e. Percobaan Pertama:

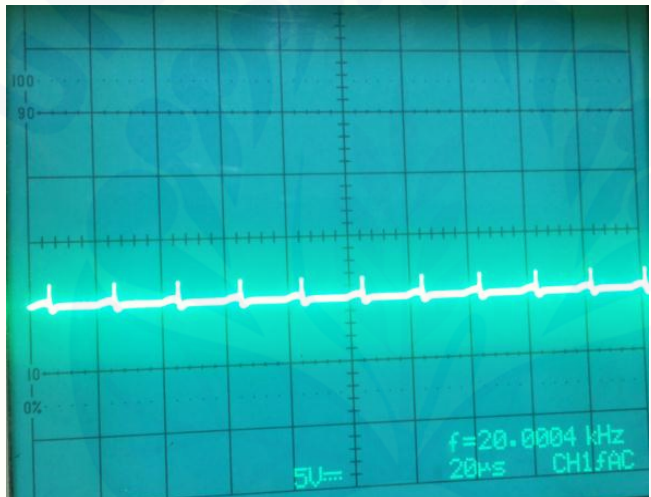
$$\begin{aligned}\eta_1 &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Input}} \times 100 \% \\ &= \frac{0.189}{0.25} \times 100 \% \\ &= 76 \%\end{aligned}$$

7. Gambar dari Osiloskop Pengujian Multilevel Boost Converter Beban Resistif Tanpa Menggunakan Kontrol PID

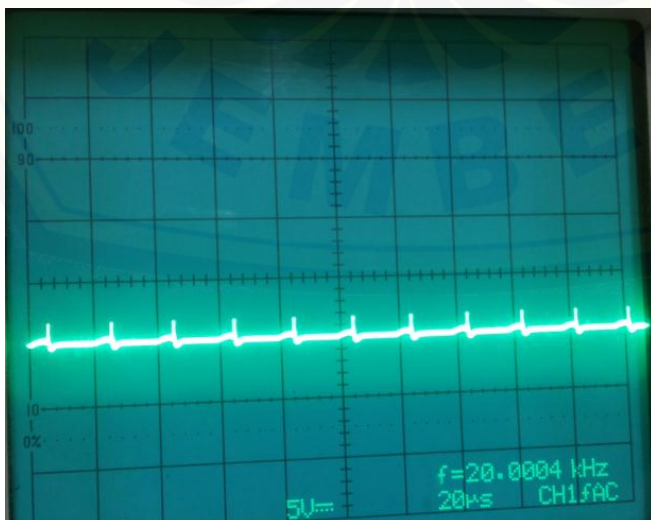
a.



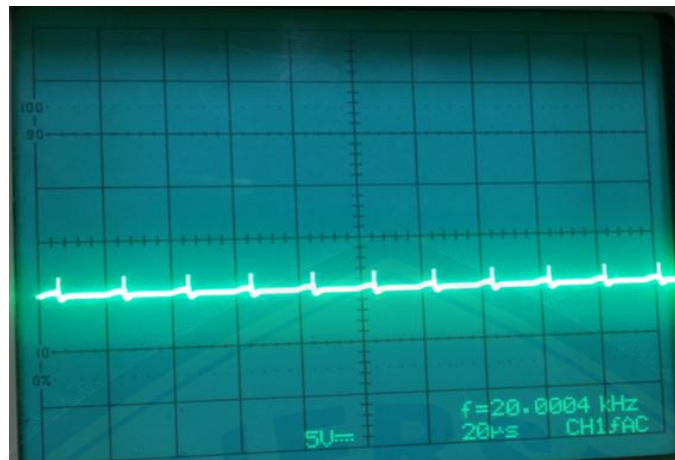
b.



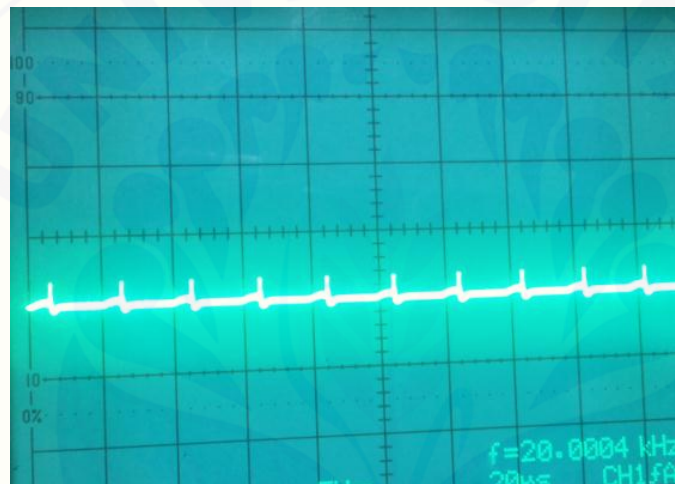
c.



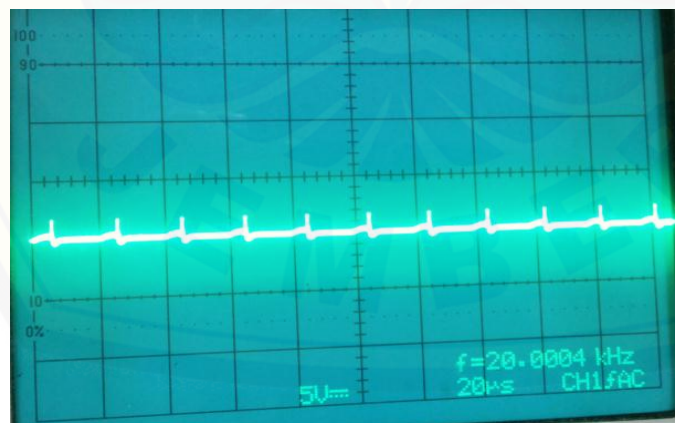
d.



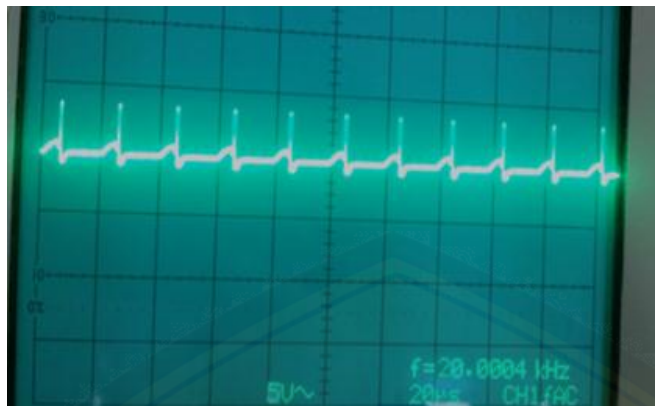
e.



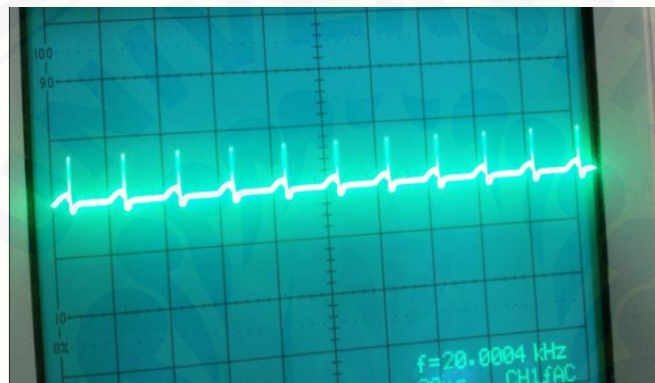
f.



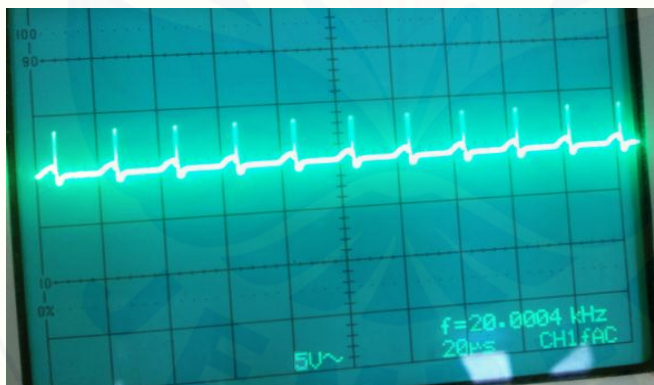
g.



h.



i.



j.

