

**ANALISIS PERBANDINGAN IC REGULATOR LINEAR DENGAN IC
REGULATOR SWITCHING DALAM RANGKAIAN REGULATOR
TEGANGAN PADA POWER SUPPLY DC**

SKRIPSI

*Diajukan kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Teknik Elektronika
sebagai salah satu persyaratan Guna memperoleh
Gelara Sarjana Pendidikan*



Oleh:

**RYAN REGIVAN
NIM. 1201945**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2019**

PERSETUJUAN SKRIPSI

ANALISIS PERBANDINGAN IC REGULATOR LINEAR DENGAN IC REGULATOR *SWITCHING* DALAM RANGKAIAN REGULATOR TEGANGAN PADA POWER SUPPLY DC

Nama : Ryan Regivan
NIM/TM : 1201945/2012
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektronika
Jurusan : Teknik Elektronika
Fakultas : Teknik

Padang, Agustus 2019

Disetujui Oleh :

Pembimbing,



Drs. Almasri, M.T.
NIP. 19640713 198803 1 016

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektronika
FT-UNP



Drs. Hanesman, M.M.
NIP. 19610111 198503 1 002

PENGESAHAN SKRIPSI

**Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika
Jurusan Teknik Elektronika Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang**

ANALISIS PERBANDINGAN IC REGULATOR LINEAR DENGAN IC REGULATOR *SWITCHING* DALAM RANGKAIAN REGULATOR TEGANGAN PADA POWER SUPPLY DC

**Nama : Ryan Regivan
NIM/TM : 1201945/2012
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektronika
Jurusan : Teknik Elektronika
Fakultas : Teknik**

Padang, Agustus 2019

Tim Penguji :

Nama	Tanda Tangan
1. Ketua : Delsina Faiza, S.T., M.T.	1. 
2. Anggota : Drs. Almasri, M.T.	2. 
3. Anggota : Thamrin, S.Pd., M.T.	3. 

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **ANALISIS PERBANDINGAN IC REGULATOR DENGAN IC REGULATOR *SWITCHING* DALAM RANGKAIAN REGULATOR TEGANGAN PADA POWER SUPPLY DC** ini sepenuhnya karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, Agustus 2019
Yang menyatakan,



Ryan Regivan
NIM. 1201945

ABSTRAK

Ryan Regivan : Analisis Perbandingan IC Regulator Linear dengan IC Regulator Switching dalam Rangkaian Regulator Tegangan pada Power Supply DC

Penelitian ini bertujuan mengetahui perbedaan penggunaan IC regulator linear dengan IC regulator *switching* berdasarkan nilai tegangan *output*, arus *output*, tegangan *ripple*, regulasi beban, stabilitas terhadap perubahan catu jala-jala, daya, ketahanan dan kondisi ideal secara teori. Penelitian ini adalah penelitian komparasi. Metode dilakukan lewat studi literatur, teknik eksperimen dan simulasi. Pengambilan kesimpulan lewat membandingkan hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan rumus lalu dilakukan analisis perbandingan. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan pada parameter tegangan *output*, dengan tegangan *output* 4,98V untuk regulator *switching* dan 4,81V untuk regulator linier. Arus *output* dengan beban 10K Ω menggunakan rumus didapat hasil 0,5mA, arus *output* regulator *switching* 0,099mA dan 0,47mA untuk regulator linier. Regulasi beban pada beban 10K Ω untuk regulator linier adalah 1,66% dan -0,8% untuk regulator *switching*. Stabilitas terhadap perubahan catu jala-jala, pada tegangan sumber 50V AC, tegangan *output* regulator linier adalah 3,29V DC dan 4,14V DC untuk regulator *switching*. Daya pada beban 100 Ω , regulator linier adalah 202mW dan 244mW untuk regulator *switching*. Tegangan *ripple* regulator linier menggunakan rumus adalah 2,49V, pengukuran didapat 248mV dan regulator *switching* menggunakan rumus adalah 5,34V, pengukuran didapat 441mV. Ketahanan kedua *voltage regulator* tidak terdapat perbedaan sama sekali. Berdasarkan parameter yang telah diukur dan dihitung IC regulator *switching* lebih unggul dibandingkan IC regulator linier.

Keywords: IC regulator linear, IC regulator *switching*, Tegangan *Output*, Arus *Output*, Tegangan *Ripple*, Regulasi Beban, Stabilitas Terhadap Perubahan catu jala-jala, Daya, Ketahanan.

KATA PENGANTAR



Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, serta dengan izin-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Perbandingan IC Regulator linear Dengan IC Regulator Switching Dalam Rangkaian Regulator Tegangan Pada Power Supply DC**”. Shalawat beserta salam semoga senantiasa terlimpah dan tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya dan kepada umatnya hingga akhir zaman, Amiin.

Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Strata Satu pada Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Penulis menyadari banyaknya kekeliruan yang terjadi sehingga tidak sedikit bantuan dan bimbingan yang didapatkan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Dr. Fahmi Rizal, M.Pd. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Drs. Hanesman, M.M. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
3. Bapak Drs. Almasri, M.T. Selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
4. Ibu Delsina Faiza, S.T., M.T. selaku dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
5. Bapak Thamrin, S.Pd, M.T. Selaku Dosen Penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukan dalam penulisan skripsi ini

6. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektronika, Teknisi dan Pegawai Jurusan Teknik Elektronika Universitas Negeri Padang.
7. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektronika Universitas Negeri Padang.
8. Teristimewa untuk kedua Orang Tua dan keluarga besar yang senantiasa selalu memberikan doa dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Seluruh pihak yang telah berpartisipasi dalam membantu penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa tak ada gading yang tak retak, begitu juga dengan skripsi ini yang tak luput dari kekurangan. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini. Semoga Allah SWT menilai ibadah yang penulis kerjakan dan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Amin.

Padang, Agustus 2019

penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah.....	5
C. Batasan Masalah	6
D. Rumusan Masalah.....	7
E. Tujuan Penelitian	8
F. Manfaat Penelitian	8
 BAB II LANDASAN TEORI	
A. <i>Power Supply</i>	9
B. Klasifikasi <i>Power Supply</i>	13
C. Prinsip Kerja <i>Power Supply</i> DC	21
D. <i>IC Voltage regulator</i>	34
E. Karakteristik power supply DC	47
F. Penelitian Yang Relevan.....	53
G. Kerangka Berfikir	54

BAB III LANDASAN TEORI

A. Jenis Penelitian	57
B. Objek Penelitian	58
C. Variabel penelitian.....	58
D. Instrumen Penelitian dan Teknik Pengambilan Data	59
E. Langkah-Langkah Pengukuran.....	60
F. Teknik Analisis Data	66

BAB IV HASIL PENGUKURAN DAN ANALISA DATA

A. Tegangan	68
B. Arus	73
C. Tegangan <i>Ripple</i>	88
D. Regulasi Beban.....	92
E. Stabilitas Tegangan Input	118
F. Daya.....	121
G. Ketahanan	129

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan.....	131
B. Saran.....	131

DAFTAR PUSTAKA	133
-----------------------------	------------

LAMPIRAN.....	135
----------------------	------------

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbandingan 3 macam jenis penyearah (<i>rectifier</i>).....	29
2. Spesifikasi <i>voltage regulator</i> ideal	35
3. Karakteristik IC 3-terminal	40
4. Instrumen Atau Alat Penelitian.....	59
5. Pengukuran Tegangan <i>Output</i> regulator tanpa beban	68
6. Pengukuran total rata-rata tegangan <i>output</i> regulator	71
7. Perbandingan Tegangan <i>Output</i> Regulator	72
8. Pengukuran Arus <i>Output</i> regulator LM7805	73
9. Pengukuran total rata-rata Arus <i>Output</i> regulator LM7805.....	79
10. Pengukuran Arus <i>Output</i> regulator XL4015.....	80
11. Pengukuran total rata-rata Arus <i>Output</i> regulator XL4015	86
12. Perbandingan Arus Regulator	87
13. Pengukuran Tegangan <i>Ripple</i> regulator LM7805.....	89
14. Pengukuran Tegangan <i>Ripple</i> regulator XL4015.....	90
15. Perbandingan Tegangan <i>Ripple</i> regulator	91
16. Pengukuran Regulasi Beban regulator LM7805.....	92
17. Pengukuran Regulasi Beban regulatorXL4015	105
18. Perbandingan Regulasi Beban Regulator.....	117
19. Pengukuran Stabilitas Regulator linier LM7805	118
20. Pengukuran Stabilitas Regulator <i>switching</i> XL4015	119
21. Perbandingan rata-rata Stabilitas Regulator.....	120
22. Perhitungan Daya regulator LM7805	121
23. Perhitungan Daya regulator XL4015	123
24. Perbandingan Daya regulator.....	126
25. Pengujian Ketahanan Power Supply	129

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Blok diagram dan skema rangkaian <i>power supply</i>	10
2. gelombang satu fasa	15
3. Cycloconverter pengontrol motor induksi	16
4. Konverter tiga fase dan inverter sumber tegangan	17
5. Konfigurasi konverter DC-DC.....	18
6. Konfigurasi <i>buck converter</i>	19
7. Konfigurasi <i>boost converter</i>	20
8. Konfigurasi <i>buck-boost converter</i>	20
9. Blok Diagram <i>power supply</i> DC.....	22
10. Transformator	23
11. Penyearah Jembatan.....	28
12. Cara Kerja <i>Filter</i>	31
13. Cara kerja pengisian Kapasitor	32
14. Regulator zener	33
15. <i>Voltage regulator</i> linear seri	36
16. Ilustrasi cara kerja regulator seri.....	38
17. konfigurasi standar IC 3-terminal	39
18. Rangkaian regulator <i>step-down</i>	41
19. Regulator <i>buck</i>	44
20. Gelombang regulator <i>switching</i>	45
21. Ilustrasi proses pereglasian regulator <i>switching</i>	46
22. Diagram Blok IC XL4015	47
23. Beda Potensial Antara Dua Terminal.....	48
24. Tegangan <i>Ripple</i>	50
25. Skema Rangkaian Regulator yang Diteliti.....	55
26. Kerangka Berfikir	56
27. Skema Rangkaian yang akan Dibandingkan.....	61
28. Pengukuran Tegangan <i>Output</i>	61

29. Pengukuran Arus <i>Output</i>	62
30. Pengukuran Tegangan <i>Ripple</i>	63
31. Pengukuran Regulasi Beban	63
32. Pengukuran Stabilitas Tegangan <i>Input</i>	64
33. Pengujian ketahanan <i>power supply</i>	65
34. Bentuk sinyal <i>Ripple</i> regulator.....	88
35. Pengujian ketahanan <i>power supply</i>	129

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Gambar Skema regulator yang akan diteliti.....	135
2. Pengukuran Tegangan <i>Output</i> regulator	136
3. Pengukuran Arus regulator	141
4. Pengukuran Tegangan <i>Ripple</i> regulator	157
5. Pengukuran Daya regulator.....	171
6. Pengukuran Stabilitas tegangan <i>Input</i> AC pada regulator	174
7. Datasheet IC regulator linier LM7805	182
8. Datasheet IC regulator linier XL4015.....	191

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi elektronika dewasa ini berlangsung semakin canggih dan tingkat kemampuannya semakin tinggi. Perangkat elektronika selalu mengalami perubahan dan inovasi baik dari segi ukuran, desain, fungsi, maupun tingkat kemampuannya. Hampir semua aspek kehidupan tidak terlepas dari perangkat elektronika. Perangkat elektronika memiliki peranan penting dari segi hiburan dan dari segi membantu pekerjaan.

Menurut Floyd (2012 : 45) mengatakan "Catu daya DC (*Direct Current*) mengubah tegangan jala-jala 120 V (*Volt*), 60 Hz (*Hertz*) menjadi tegangan DC yang konstan". *Power supply* (catu daya) digunakan disebagian besar peralatan listrik. Aplikasi ini mencakupi segala spektrum jenis produk, mulai dari peralatan konsumen hingga utilitas industri, dari ukuran daya miliwatt ke megawatt, dari alat genggam ke komunikasi satelit. Konstruksi *power supply* DC yang utuh pada prinsipnya terdiri dari, *transformator*, *rectifier*, *filter*, dan *regulator*.

Menurut Floyd (2012 : 45) mengatakan

"*Transformator* mengubah tegangan AC (*Alternating Current*) berdasarkan rasio pebandingan antara bagian primer dan sekunder. Apabila bagian sekunder memiliki lilitan lebih banyak dari primer, tegangan yang mengalir dibagian sekunder akan besar dan arus yang mengalir akan kecil. Apabila lilitan sekunder lebih sedikit dari primer maka tegangan sekunder akan kecil dan arus akan besar. *Rectifier* (penyearah) mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). *Filter* mengeleminasi fluktuasi pada penyearah tegangan dan menghasilkan tegangan DC yang relatif bersih. *Regulator* adalah

sirkuit yang mempertahankan tegangan DC tetap konstan terhadap variasi *input* tegangan jala-jala atau pada pembebanan".

Proses pengaturan tegangan pada suatu catu daya (*power supply*)

Menurut Rashid (2011 : 601) mengatakan

"Secara umum, tahap regulasi catu daya DC (*Direct Current*) terdiri rangkaian *feedback*, *stable reference voltage*, dan sirkuit kontrol untuk menggerakkan elemen *Pass* (perangkat solid-state seperti transistor MOSFET, dan lain-lain). Peregulasian dinyatakan telah siap dengan merasakan variasi yang muncul pada *output* catu daya DC. Sinyal kontrol dihasilkan untuk menggerakkan elemen pelewat untuk membatalkan terjadinya perubahan. Sebagai hasilnya, *output* catu daya DC dipertahankan tetap konstan. Dalam regulator transistor, transistor adalah sebagai elemen pelewat, yang akan beroperasi pada wilayah aktif atau sebagai saklar, untuk meregulasi tegangan *output*. Ketika transistor beroperasi pada suatu titik di wilayah aktifnya, regulator disebut sebagai regulator tegangan linier. Apabila transistor hanya beroperasi pada saat *Cut-off* dan saturasi, sirkuit disebut sebagai regulator *switching*".

Dalam Perancangan suatu catu daya (*power supply*) pemilihan suatu *voltage regulator* adalah suatu hal yang bisa dikatakan sangat rumit bagi orang yang tidak berpengalaman atau kurang akan pengetahuan komponen elektronika, dan apabila terjadi kesalahan dalam penggunaan *voltage regulator* bisa menjadi hal yang berakibat fatal pada peralatan elektronik yang mendapat sumber tegangan dari catu daya (*power supply*).

Menurut Rashid (2011 : 602) mengatakan

"Kedua regulator baik linear dan *switching* mampu melakukan fungsi yang sama untuk mengubah *input* yang belum diatur menjadi *output* yang sudah diatur. Namun kedua jenis ini memiliki perbedaan yang signifikan dalam pembentukannya dan penampilan. Dalam mendesain catu daya, pemilihan pada suatu tipe regulator bergantung pada biaya dan performa sebuah regulator itu sendiri. Untuk menggunakan tipe regulator yang lebih tepat dalam desain, perlu untuk memahami persyaratan aplikasi dan pemilihan jenis regulator yang paling memenuhi persyaratan tersebut".

Voltage regulator (regulator tegangan) menyediakan tegangan *output* DC (*Direct Current*) konstan yang pada dasarnya tidak bergantung pada tegangan *input*, beban arus *output*, dan temperatur. Sebagian besar *voltage regulator* (regulator tegangan) dibagi menjadi dua kategori: regulator linier dan regulator *switching*.

Menurut Floyd (2012 : 851) mengatakan

"Di kategori regulator linier, terdapat dua tipe umum, adalah regulator seri, dan regulator *shunt*. Regulator ini biasanya tersedia baik untuk tegangan positif ataupun negatif. Pada regulator ganda menyediakan *output* positif dan negatif. Pada regulator *switching*, terdapat tiga konfigurasi umum yaitu *step-down*, *step-up*, dan *inverting*".

Ketersediaan untuk IC (*integrated circuit*) regulator memiliki banyak jenis, yang paling populer adalah regulator tegangan tetap dengan 3 terminal dan regulator tegangan yang diatur dengan 3 terminal. Regulator *switching* pun adalah yang banyak juga digunakan.

Seiring berjalannya waktu, teknologi komponen elektronika terus dikembangkan oleh para ahli. Akhirnya pada tahun 1958 ditemukanlah suatu rangkaian terpadu (*Integrated Circuit / IC*) pertama kali oleh Jack Kilby dari *Texas Instruments*. Lalu awal 1959, Robert Noyce, dari *Fairchild Semiconductor* juga mengembangkan sebuah konsep IC. (Maloberty, F and Davies, A.C, 2016 : 67). Pada hari ini berkat penemuannya mereka dikenal sebagai penemu IC.

Menurut Bishop (2011 : 211) mengatakan "salah satu perkembangan terpenting dalam pembuatan komponen elektronika rangkaian terintegrasi

(*integrated circuit* / IC). Daripada harus membangun sirkuit dari komponen individu seperti resistor, kapasitor dan transistor....".

Dengan teknologi *Integrated Circuit* atau IC memungkinkan seorang perancang rangkaian elektronika untuk membuat sebuah peralatan elektronika yang lebih kecil, lebih ringan dengan harga yang lebih terjangkau. Oleh karena itu IC telah menjadi komponen utama pada hampir semua peralatan elektronika saat ini. Menurut Gibilisco (2002 : 522) mengatakan

"beberapa keuntungan dari penggunaan IC:

1. *Compactness*
2. *High speed*
3. *Low power requirement*
4. *Reliability*
5. *Ease of maintenance*
6. *Modular construction*".

Perancangan suatu catu daya (*power supply*) yang ideal harus mempunyai aturan dasar terhadap peregulasian tegangan, dengan mempunyai karakteristik tertentu.

Menurut Floyd (2012 : 852) mengatakan

"dua kategori dasar *voltage regulator* (regulator tegangan) adalah *Line Regulation* dan *Load regulation*. Tujuan dari *Line Regulation* adalah untuk mempertahankan tegangan *output* yang hampir konstan ketika tegangan *input* bervariasi. Tujuan *Load regulation* adalah untuk mempertahankan tegangan *output* hampir konstan saat beban bervariasi".

Pakar lainnya pun menambahkan baiknya kualitas suatu *power supply* apabila mempunyai karakteristik berikut. Menurut Malvino (2016 : 960) mengatakan "Kualitas *power supply* (catu daya) tergantung pada *load regulation*, *line regulation* dan *output resistance*. Karakteristik ini sangat sering digunakan untuk menilai suatu *power supply*".

Dengan menganalisa parameter-parameter dari rangkaian *voltage regulator* (pengatur tegangan) IC (*Integrated Circuit*) regulator linier dan IC regulator *switching*. Demikian pula diketahui bahwa sumber *input* tegangan suatu *power supply* yang berasal dari sumber AC (*Alternating Current*) mempunyai ketidakstabilan, maka *voltage regulator* (pengaturan tegangan) dibutuhkan untuk menstabilkan kondisi tegangan *output power supply* agar tetap konstan dan dapat diandalkan. Dengan demikian dapat pula diketahui rangkaian regulator yang mana yang mendekati kajian teoritisnya atau yang mendekati kondisi ideal. Untuk mengetahui hal-hal tersebut diatas, maka perlu dilakukan suatu penelitian. Berdasarkan latar belakang yang telah dituliskan ini, maka peneliti tertarik untuk melakukan sebuah penelitian yang akan dituangkan dalam bentuk skripsi dengan judul **“Analisis Perbandingan IC Regulator Linear dengan IC Regulator Switching dalam Rangkaian Regulator Tegangan pada Power Supply DC”**.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah ditulis di atas, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Ada 2 (dua) jenis IC (*Integrated Circuit*) *voltage regulator* pada *power supply* DC (*Direct Circuit*) yaitu IC linear regulator dan IC regulator *switching* sebagai komponen utama dalam *voltage regulator* pada *power supply* DC.

2. Ada beberapa macam parameter dari rangkaian *power supply* DC, yaitu parameter tegangan *output*, arus *output*, tegangan *ripple*, *load regulation*, *line regulation*, *output resistance*, dan stabilitas tegangan *input*.
3. Analisis mengenai parameter rangkaian *power supply* DC diperlukan untuk mengetahui karakteristik dari rangkaian *voltage regulator* yang menggunakan IC regulator linear dan yang menggunakan IC regulator *switching* sebagai komponen utamanya.
4. Analisis mengenai parameter rangkaian *power supply* DC diperlukan untuk mengetahui *voltage regulator* yang mendekati kondisi ideal, antara *voltage regulator* yang menggunakan IC regulator linear dan yang menggunakan IC regulator *switching* sebagai komponen utamanya.
5. Pada *power supply* DC dibutuhkan parameter tegangan *output*, arus *output*, tegangan *ripple*, *load regulation*, stabilitas tegangan *input*, daya, ketahanan yang bisa diteliti.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan jelas, maka perlu adanya batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan hanya menganalisis 2 (dua) jenis rangkaian *voltage regulator* yaitu pada rangkaian *power supply* DC (*Direct Circuit*) yang menggunakan IC (*Integrated Circuit*) regulator linear dan IC regulator *switching* sebagai komponen utamanya.

2. Penelitian dan analisis yang dilakukan dibatasi hanya pada 7 (tujuh) macam parameter dari *power supply* DC, yaitu parameter tegangan *output*, arus *output*, tegangan *ripple*, *load regulation*, stabilitas tegangan *input*, daya, ketahanan.
3. Penelitian ini dibatasi hanya menggunakan 1 (satu) macam seri IC regulator linear yakni IC LM7805 dan 1 (satu) macam seri IC regulator *switching* yakni XL4015 dimana difungsikan sebagai *voltage regulator* penurun tegangan.
4. Rentang tegangan *output* yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah tegangan 5 Volt.
5. Pengujian kinerja IC akan digunakan beban lampu LED dan tegangan *input* minimum 4 Volt AC dan *input* maksimum 30 Volt AC.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan batasan masalah yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Apakah terdapat perbedaan nilai tegangan *output*, arus *output*, tegangan *ripple*, *load regulation*, stabilitas tegangan *input*, daya, ketahanan, dari rangkaian *voltage regulator* yang menggunakan IC (*Integrated Circuit*) regulator linear dengan yang menggunakan IC regulator *switching*?
2. Dari dua jenis rangkaian *voltage regulator* yang menggunakan IC regulator linier dan IC regulator *switching*, rangkaian *voltage regulator* yang manakah mendekati kondisi ideal secara teori?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui perbedaan nilai tegangan *output*, arus *output*, tegangan *ripple*, *load regulation*, stabilitas tegangan input, daya, ketahanan, dari rangkaian *voltage regulator* yang menggunakan IC (*Integrated Circuit*) regulator linear dengan yang menggunakan IC regulator *switching*.
2. Mengetahui kondisi yang mendekati ideal secara teori dari 2 (dua) jenis rangkaian yang menggunakan IC regulator linier dan yang menggunakan IC regulator *switching*.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat memberikan sumbangan pemikiran dalam mengembangkan pengetahuan tentang rangkaian elektronika, pada rangkaian *power supply* DC (*Direct Current*), khususnya penggunaan pada *voltage regulator* (regulator tegangan).
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan acuan untuk pembelajaran dan penelitian-penelitian yang akan datang.
3. Dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi teknisi elektronika dalam memilih jenis rangkain *power supply* DC dan *voltage regulator* yang sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan untuk memenuhi aplikasi suatu pekerjaan.

BAB II

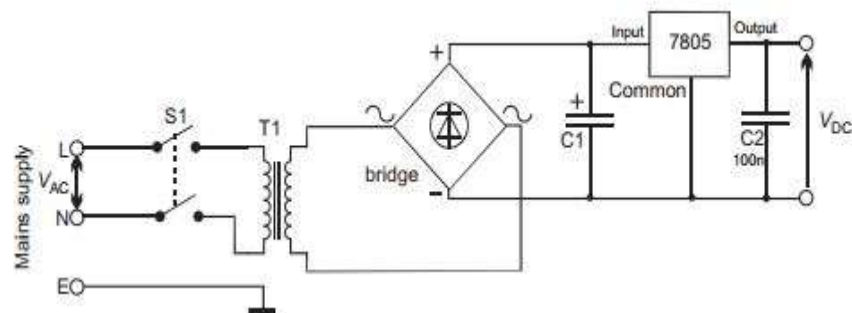
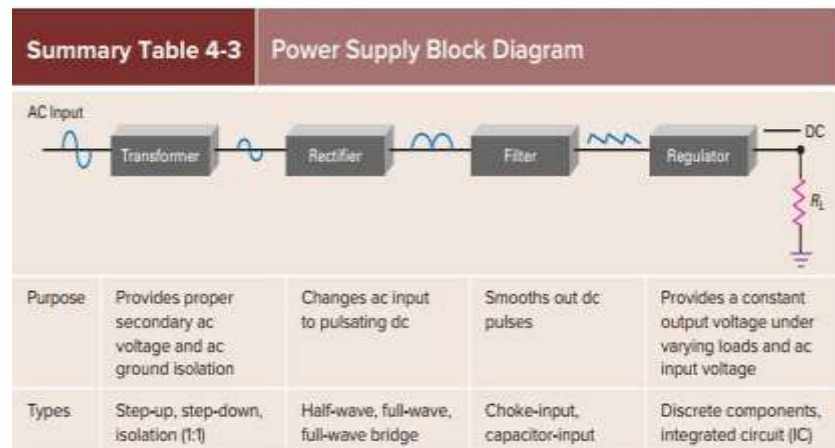
LANDASAN TEORI

A. *Power Supply*

Power supply atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan catu daya adalah suatu alat listrik yang dapat menyediakan energi listrik untuk perangkat listrik ataupun elektronika lainnya. Pada dasarnya *power supply* atau catu daya ini memerlukan sumber energi listrik yang kemudian mengubahnya menjadi energi listrik yang dibutuhkan oleh perangkat elektronika lainnya. Oleh karena itu, *power supply* kadang-kadang disebut juga dengan istilah *Electric Power Converter*. Konstruksi *power supply* DC (*Direct Current*) yang utuh pada prinsipnya terdiri dari, *transformator*, *rectifier*, *filter*, dan *regulator*.

Menurut Floyd (2012 : 45) mengatakan

"*Transformator* mengubah tegangan AC (*Alternating Current*) berdasarkan rasio perbandingan antara bagian primer dan sekunder. Apabila bagian sekunder memiliki lilitan lebih banyak dari primer, tegangan yang mengalir dibagian sekunder akan besar dan arus yang mengalir akan kecil. Apabila lilitan sekunder lebih sedikit dari primer maka tegangan sekunder akan kecil dan arus akan besar. *Rectifier* (penyearah) mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). *Filter* mengeleminasi fluktuasi pada penyearah tegangan dan menghasilkan tegangan DC yang relatif bersih. *Regulator* adalah sirkuit yang mempertahankan tegangan DC tetap konstan terhadap variasi *input* tegangan jala-jala atau pada pembebanan".



Gambar 1. Blok diagram dan skema rangkaian *power supply*
 Sumber: Malvino(2016 :116), Bishop(2011 : 147)

1. *Transformer*

Transformator atau trafo adalah blok suatu alat / komponen elektronika sebagai *input* awal suatu *power supply* merubah sumber jala-jala listrik AC (*Alternating Current*). Fungsi dari transformator adalah sebagai penurun tegangan, atau penaik tegangan AC.

Menurut Bird(2007 : 327) mengatakan

"Transformator (Transformer) adalah alat yang menggunakan fenomena induksi timbal balik untuk mengubah nilai tegangan dan arus bolak-balik. Bahkan, salah satu keuntungan utama dari transmisi AC adalah kemudahan bagi transformer untuk meningkatkan atau menurunkan tegangan bolak-balik".

2. Rectifier

Rectifier atau penyearah adalah blok dari *power supply* terdiri dari susunan komponen elektronika yakni dioda yang mana difungsikan sebagai penyearah atau perubah bentuk tegangan bolak-balik / AC (*Alternating Current*) dari sumber jala-jala yang kemudian dirubah menjadi tegangan searah / DC (*Direct Current*).

Menurut Malvino (2016 : 86) mengatakan

"Sebagian besar rangkaian elektronika membutuhkan tegangan DC untuk dapat bekerja dengan baik. Karena tegangan jala-jala adalah tegangan AC (*Alternating Current*) dan nilai tegangannya terlalu tinggi, maka yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah menurunkan tegangannya dan mengubah tegangan AC (*Alternating Current*) ke tegangan DC (*Direct Current*) yang relatif konstan".

3. Filter

Filter atau penapis adalah suatu blok dari *power supply* yang difungsikan sebagai meratakan tegangan yang keluar dari blok *rectifier*. *Filter* ini biasanya terdiri dari komponen kapasitor (kondensator) berjenis elektrolit atau ELCO (*Electrolyte Capacitor*).

Menurut Malvino (1984) dalam terjemahan Barmawi dan Tjia (1999 : 57) mengatakan

"yang benar-benar dibutuhkan oleh sebagian besar rangkaian-rangkaian elektronika adalah tegangan DC (*Direct Current*) yang bernilai tetap, sama seperti tegangan yang berasal dari baterai. Untuk mengubah sinyal-sinyal setengah gelombang dan gelombang penuh ke tegangan DC yang tetap, diperlukan sebuah penapis atau *filter*".

4. *Voltage regulator*

Voltage regulator adalah blok dari *power supply* yang difungsikan sebagai penghasil tegangan dan arus searah DC (*Direct Current*) yang tetap dan stabil, maka diperlukan *voltage regulator* yang berfungsi untuk mengatur tegangan sehingga tegangan *output* tidak dipengaruhi oleh suhu, arus beban dan juga tegangan *input* yang berasal *output filter*. *Voltage regulator* pada umumnya terdiri dari dioda zener, transistor, IC (*integrated circuit*). Menurut Malvino (1979) dalam terjemahan Gunawan (1992 : 83) mengatakan "cara yang sederhana untuk menyempurnakan pengaturan tegangan adalah dengan regulator zener".

Sebuah catu daya (*power supply*) mempunyai kemampuan untuk mengubah suplai teganganyang berawal AC (*Alternating Current*) menjadi *output* tegangan DC (*Direct Current*).

Menurut Coates (2017:1) mengatakan

"Idealnya, sebuah *Power Supply Unit* DC (umumnya disebut PSU) mengambil daya dari suplai listrik (saluran) AC (*Alternating Current*) untuk melakukan beberapa tugas:

- a. Dapat merubah (dalam banyak kasus mengurangi) tingkat pasokan ke nilai yang cocok untuk menggerakkan suaturangkaian beban.
- b. Dapat merubah (dalam banyak kasus mengurangi) tingkat pasokan ke nilai yang cocok untuk menggerakkan suatu rangkaian beban.
- c. Dapat menghasilkan sumber DC (*Direct Current*) dari pasokan sumber (saluran) AC (*Alternating Current*) yang berbentuk gelombang sinusoidal.
- d. Dapat mencegah tegangan AC (*Alternating Current*) muncul pada bagian *output*.
- e. Dapat memastikan bahwa tegangan *output* tetap terjaga pada level konstan, tidak terpegaruh terhadap perubahan:

- 1) Pasokan sumber tegangan AC (*Alternating Current*) pada bagian *input*.
- 2) Arus beban yang terambil pada bagian *output*.
- 3) Suhu".

Power supply atau catu daya ini memerlukan sumber energi listrik yang kemudian mengubahnya menjadi energi listrik yang dibutuhkan oleh perangkat elektronika lainnya. Kemampuan merubah bentuk energi ini maka catu daya disebut konverter daya.

Menurut Dorf (2006: chapter 9.2) mengatakan

"Konversi daya berkaitan dengan proses konversi tenaga listrik dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Kemampuan perangkat elektronik yang melakukan konversi daya disebut konverter daya. Konverter daya umumnya diklasifikasikan sebagai:

- a. Konverter AC - DC (konverter pengontrol fase).
- b. Pengkonversi langsung AC - AC (cycloconverter).
- c. Konverter DC - AC (inverter).
- d. Konverter DC - DC (choppers, buck, dan boost konverter)".

B. Klasifikasi *Power Supply*

Power supply atau catu daya kadang-kadang disebut juga dengan istilah *Electric Power Converter*, karena *power supply* berhubungan dengan proses konversi tenaga listrik.

Menurut Dorf (2006 : chapter 9.2) mengatakan

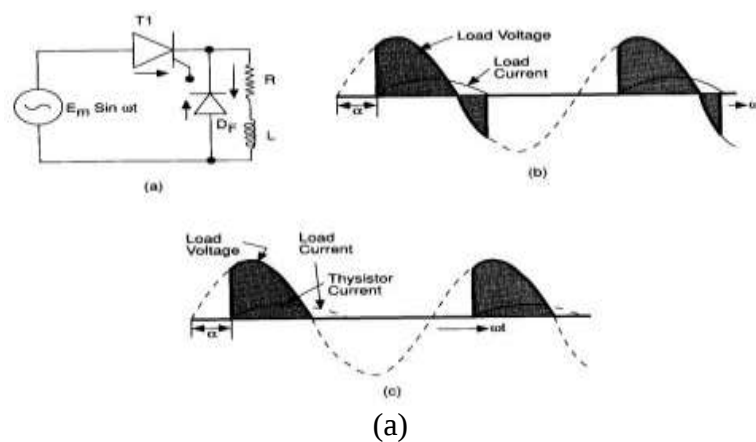
"Konversi daya berkaitan dengan proses konversi tenaga listrik. Kemampuan perangkat elektronik yang melakukan konversi daya disebut konverter daya. Konverter daya umumnya diklasifikasikan sebagai :

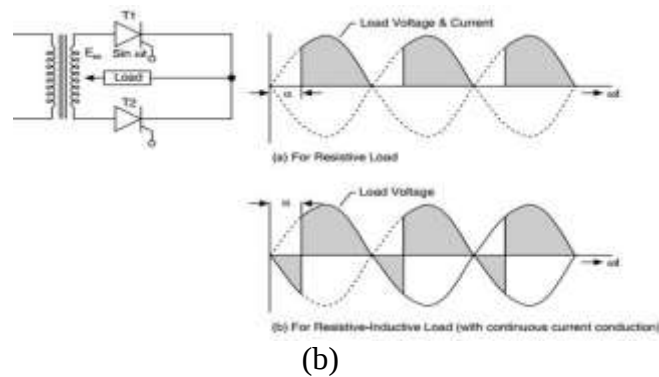
1. Konverter AC-DC (konverter pengontrol fase).
2. Pengkonversi langsung AC-AC (Cycloconverter).
3. Konverter DC - AC (inverter).
4. Konverter DC - DC (choppers, buck, dan boost konverter)".

1. Konverter AC-DC (konverter pengontrol fase)

Fungsi dasar dari konverter yang dikendalikan fase adalah mengubah tegangan bolak-balik (*Alternating Current/AC*) dari amplitudo dan frekuensi yang berubah-ubah ke tegangan DC (*Direct Current*). Perangkat daya yang digunakan untuk aplikasi ini umumnya adalah SCR (*Silicon Controlled Rectifier*). Nilai rata-rata tegangan *output* dikontrol dengan memvariasikan waktu konduksi SCR. SCR akan dalam kondisi *turn-on* apabila kaki *Gate* mendapatkan tegangan positif/bias maju. Kondisi *turn-off* dicapai dengan menurunkan tegangan kaki-kaki lainnya yakni kaki anoda-katoda ketitik nol. Menjadi suatu kecenderungan alami dari SCR dalam proses pergantian arus yang masuk dan keluar tanpa perlu adanya bantuan sirkuit tambahan untuk bekerja. Proses pergantian ini sering disebut *natural commutation*.

Konverter jenis ini mempunyai dua macam bentuk gelombang *output*, half-wave (setengah gelombang) dan *full-wave* (gelombang penuh).

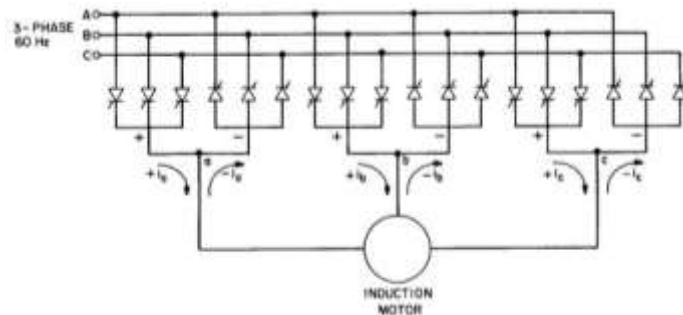




Gambar 2. (a) Bentuk gelombang satu fasa *half-wave* (setengah gelombang); (b) gelombang satu fasa *full-wave* (gelombang penuh).
Sumber: Dorf (2006 : chapter 9-8, 9-9)

2. Pengkonversi langsung AC-AC (cycloconverter)

Cycloconverter adalah pengubah frekuensi AC ke AC secara langsung. Istilah konversi langsung berarti energi tidak berubah kedalam bentuk apa pun, melainkan tetap, dimana *input* AC (*Alternating Current*) maka *output* tetap AC. Frekuensi *output* akan lebih rendah dari frekuensi *input* dan umumnya merupakan kelipatan integral dari frekuensi *input*. Kelebihan dari cycloconverter adalah memungkinkan energi yang dihasilkan bisa dihubungkan kembali ke sumber jala-jala tanpa perlu tindakan tambahan. Urutan fase dari tegangan *output* dapat dengan mudah di balik (*reverse*) oleh sistem kontrol. Cycloconverter dapat ditemukan pada aplikasi sistem penerbangan, dan sistem pengemudi di industri. Cycloconverter ini cocok digunakan untuk pengontrolan motor sinkron dan motor induksi.

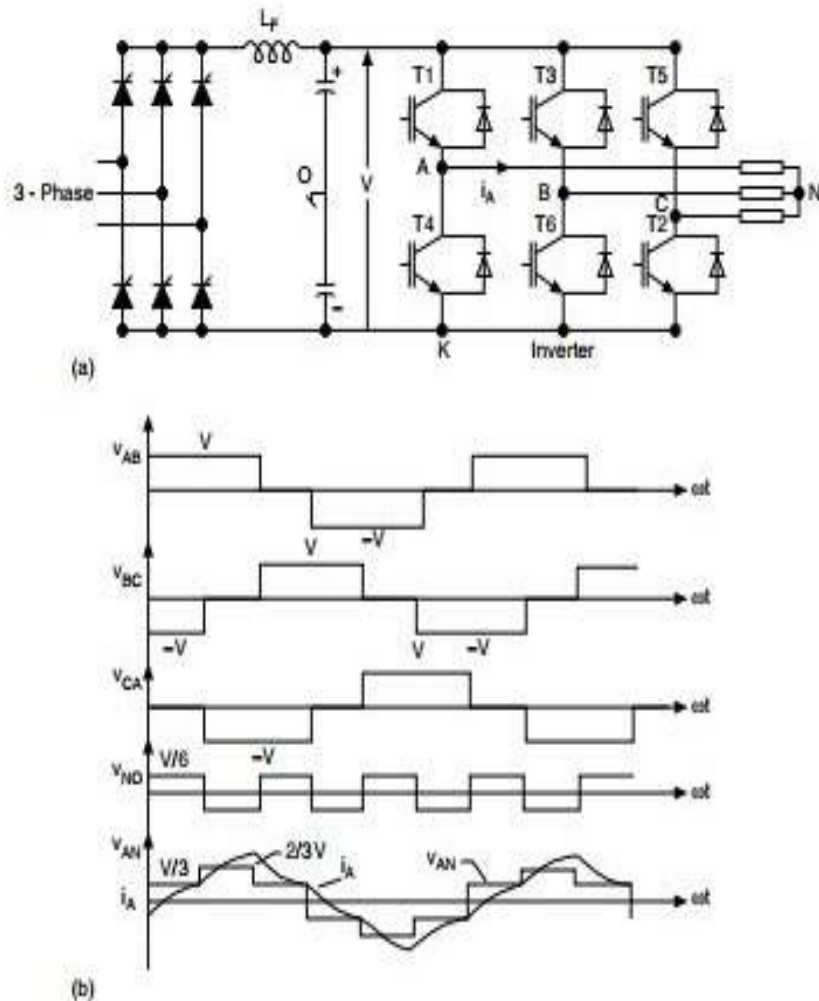


Gambar 3. Cycloconverter pengontrol motor induksi.
Sumber: Dorf (2006 : chapter 9-40)

3. Konverter DC-AC (inverter)

Konverter DC-AC umumnya disebut inverter. Cara kerjanya dengan merubah sumber jala-jala AC (*Alternating Current*) ke bentuk DC (*Direct Current*), yang kemudian dikonversi ke catu daya variabel (baik tegangan ataupun frekuensi). Umumnya inverter terdapat penyearah jembatan 3 fase yang terhubung pada sumber jala-jala AC, dan sumber DC dihubungkan dengan suatu *filter*, dan penyearah inverter tiga fase terhubung pada beban. Dalam suatu kasus sistem yang dioperasikan berasal dari baterai, maka tidak dibutuhkan tindakan perubahan ke DC. Inverter dapat di klasifikasikan dengan inverter sumber tegangan (VSI / *voltage source inverters*) dan inverter sumber arus (CSI/*current source inverter*). Cara kerja inverter jenis VSI adalah menghasilkan tegangan DC yang konstan, sedangkan Cara kerja inverter jenis CSI adalah arus yang konstan. Sumber tegangan dapat diubah sebagai sumber arus dengan menghubungkan rangkaian induktansi dan kemudian memvariasikan tegangan untuk mendapatkan arus yang diinginkan. VSI dapat beroperasi pada mode arus yang dikontrol, dan serupa juga pada CSI dapat beroperasi

pada mode tegangan yang dikontrol. Inverter digunakan pada penggerak motor AC sebagai pengatur frekuensi, (*uninterrupted power supplies/UPS*), pemanas induksi, kompensator VAR (*volt-ampere reactive*) statis.

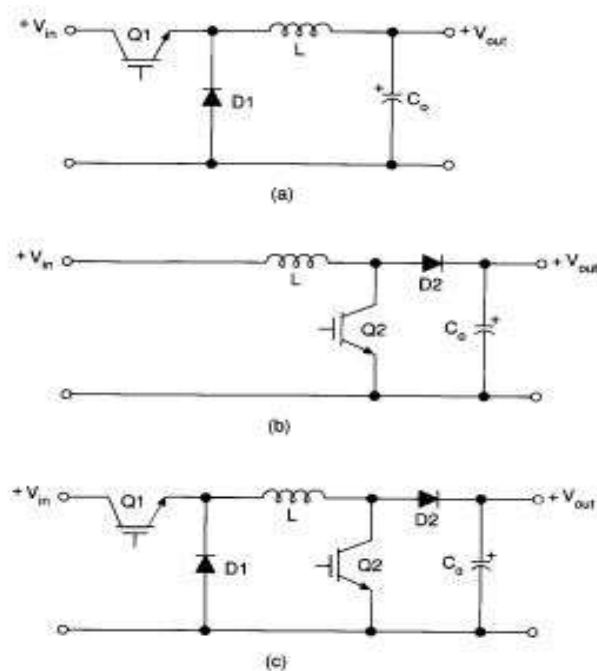


Gambar 4. (a) Konverter tiga fase dan inverter sumber tegangan (VCI);
 (b) bentuk gelombang inverter 3 fase dengan gelombang kotak
 Sumber: Dorf (2006:chapter 9-12)

4. Konverter DC-DC

Konverter DC-DC digunakan untuk mengubah tegangan DC (*Direct Current*) yang tidak diregulasi ke tegangan yang diregulasi atau

merubah tegangan DC pada *output*. Konverter ini banyak digunakan dalam *switch-mode power supply* (SMPS) dan sebagai penggerak motor DC. Pada aplikasi kontrol untuk motor DC, biasa disebut dengan *Chopper-Controlled Drives*. Sumber tegangan *input* konverter ini biasanya berupa baterai atau dari catu daya (*Power supply*) yang telah disearahkan. Terdapat beberapa topologi yang umum digunakan pada konverter DC-DC, yakni *buck converter* (penurun), *boostconverter* (penaik), dan *buck-boostconverter* (kombinasi dari penurun dan penaik).



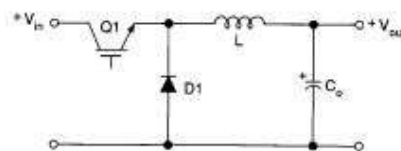
Gambar 5. Konfigurasi konverter DC-DC : (a) *buck converter*; (b) *boost converter*; (c) *buck-boost converter*
Sumber: Dorf (2006 : chapter 9-15)

a. *Buck converter*

Buck converter juga disebut *step-down converter* atau penurun tegangan. Prinsip operasinya diilustrasikan dengan mengacu pada Gambar 3 (a). IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*)

bertindak sebagai saklar frekuensi tinggi. IGBT(*Insulated-Gate Bipolar Transistor*) mensaklar berulang-ulang secara cepat untuk menutup saat *ton* dan membuka pada saat *toff* , selama *ton*, terminal suplai terhubung ke beban, dan aliran listrik dari suplai untuk memuat. Selama *toff*, arus beban mengalir melalui D1, dan tegangan beban idealnya adalah 0. Rumus tegangan *output* didapat dari

$$v_{out} = Dv_{in}$$



Gambar 6. Konfigurasi *buck converter*
Sumber: Dorf(2006 : chapter 9-15)

Dimana D adalah *duty cycle* saklar dan didapat dari $D = t_{on}/T$, dimana T adalah waktu dalam satu periode. $1/T$ adalah frekuensi pensaklaran komponen IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*)

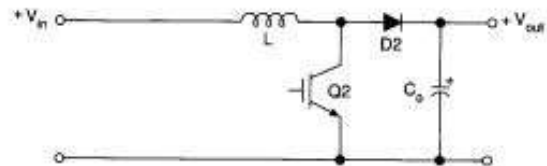
b. *Boost converter*

Boost converter juga disebut *step-up converter*. Prinsip operasinya konverter ini digunakan untuk menghasilkan tegangan yang lebih tinggi pada bagian *output* daripada tegangan *input*. Ketika saklar daya aktif, induktor terhubung ke sumber DC dan energi dari pasokan disimpan di dalamnya. Ketika perangkat mati, arus induktor dipaksa mengalir melalui dioda dan beban. Tegangan yang diinduksi oleh induktor berupa tegangan negatif. Induktor meningkatkan

tegangan sumber untuk memaksa arus induktor menuju ke beban.

Rumus tegangan *output* didapat dari

$$v_{out} = \frac{v_{in}}{1 - D}$$



Gambar 7. Konfigurasi *boost converter*
Sumber: Dorf (2006 : chapter 9-15)

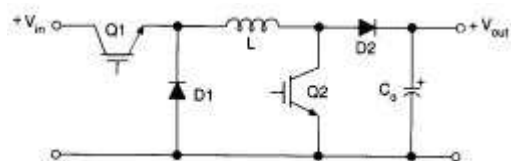
Dimana nilai D pada rentang $0 < D < 1$, dan tegangan beban

V_{out} akan bervariasi $v_{in} < v_{out} < \infty$.

c. *Buck-Boost converter*

Buck-Boost converter didapat dari penggabungan susunan *Buck* dan *Boost* konverter. Tegangan tetap dari tegangan *output* V_{out} didapat dari

$$V_{out} = V_{in} \frac{D}{1 - D}$$



Gambar 8. Konfigurasi *buck-boost converter*
Sumber: Dorf (2006 : chapter 9-15)

Converter ini memungkinkan tegangan *output* menjadi lebih tinggi atau lebih rendah daripada tegangan *input*, berdasarkan pada siklus kerja D. Topologi dari *buck-booster* konverter ditunjukkan pada Gambar 3 (c). Ketika komponen saklar *on*, bagian *input* menyediakan

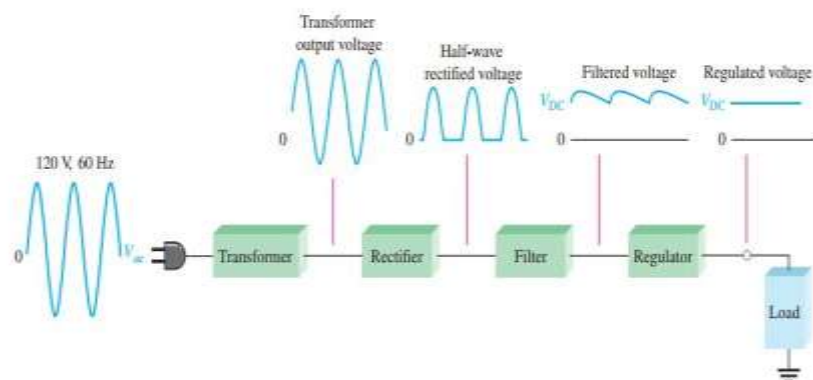
energi ke induktor dan dioda akan berada kondisi *reverse biased*. Ketika komponen saklar *off*, energi yang tersimpan pada induktor akan disalurkan ke *output*. Pada rentang ini tak ada penyaluran energi dari *input*. Pada *power supply* DC (*Direct Current*), untuk kapasitor *output* diasumsikan berkapasitas besar, dimana akan menghasilkan tegangan *output* yang konstan. Pada sistem penggerak DC (*Direct Current*), *chopper* dioperasikan dalam mode *step-down* selama kondisi menggerakkan dan dalam mode *step-up* selama kondisi regenerasi.

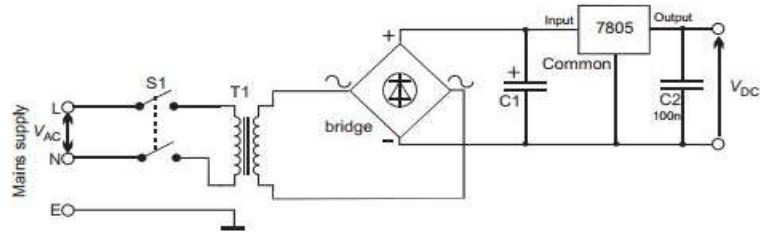
C. Prinsip Kerja Power Supply DC

Prinsip kerja dasar suatu *power supply* DC (*Direct Current*) terdiri dari 4 bagian utama yakni *transformer*, *rectifier*, *filter* dan *voltage regulator*.

Menurut Floyd (2012 : 45) mengatakan

"blok diagram sebuah *Power Supply* DC pada dasarnya memiliki 4 bagian utama agar dapat digunakan untuk menyediakan sumber energi bagi peralatan elektronik yang digunakan oleh konsumen, dan besarnya tegangan yang dibutuhkan bergantung pada aplikasinya, tetapi pada aplikasi umumnya dibutuhkan tegangan yang relatif kecil. Keempat bagian utama tersebut diantaranya adalah *transformer*, *rectifier*, *filter* dan *regulator*".





Gambar 9. Blok Diagram *power supply* DC dan skema rangkaian *power Supply*

Sumber: Floyd (2012 : 45), Bishop (2011 : 147)

1. Transformer

Transformer adalah blok dari *power supply* yang dimana menggunakan komponen transformator yang biasa digunakan sebagai pengubah nilai tegangan dari sumber jala-jala.

Menurut Bird (2007 : 327)

"Transformator (Transformer) adalah alat yang menggunakan fenomena induksi timbal balik untuk mengubah nilai tegangan dan arus bolak-balik. Bahkan, salah satu keuntungan utama dari transmisi AC (*Alternating Current*) adalah kemudahan bagi transformator untuk meningkatkan atau menurunkan tegangan bolak-balik".

Adapun pakar lain mendefinisikan transformator sebagai kopling daya AC (*Alternating Current*).

Menurut Tooley (2006: 79) menyatakan

"Transformer memberi sarana untuk kopling daya AC (*Alternating Current*) atau sinyal dari satu sirkuit ke sirkuit lain. Tegangan dapat ditingkatkan (tegangan sekunder lebih besar dari tegangan primer) atau diturunkan (tegangan sekunder kurang dari tegangan primer). Karena tidak adanya peningkatan daya (transformator adalah komponen pasif seperti resistor, kapasitor dan induktor), peningkatan tegangan pada bagian sekunder hanya dapat dicapai dengan adanya pengurangan arus pada bagian sekunder dan sebaliknya.

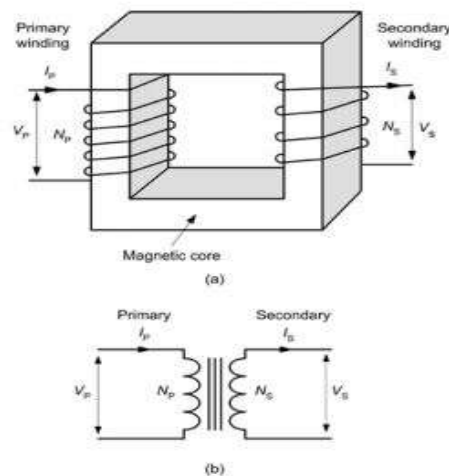
Aplikasi yang umum digunakan pada transformator termasuk sebagai penaik tegangan (*step-up*), penurun tegangan (*step-down*) dalam catu daya, kopling sinyal dalam penguat AF (*Audio*

Frequency) untuk mencocokkan impedansi, dan untuk mengisolasi potensial DC (*Direct Current*) pada komponen aktif".

Trafoformer yang digunakan untuk *Power supply* DC (*Direct Current*) adalah transformator jenis *step-down* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan komponen elektronika yang terdapat pada rangkaian *Power Supply* DC. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik yang terdiri dari 2 bagian utama yang berbentuk lilitan yaitu lilitan primer dan lilitan sekunder. Lilitan primer merupakan *input* dari pada transformator sedangkan *output*nya adalah pada lilitan sekunder. Meskipun tegangan telah diturunkan, *output* dari transformator masih berbentuk arus bolak-balik (arus AC) yang harus diproses selanjutnya.

Tooley(2006: 80) menyatakan

"Kumparan primer dan sekunder di lilit secara bersama pada inti magnet dengan reluktan rendah. Medan magnet yang dihasilkan pada kumparan primer untuk mengkopling ke kumparan sekunder. Gelombang sinusoidal yang mengalir pada kumparan primer menghasilkan medan magnet sinusoidal".



Gambar 10. Transformator
Sumber: Tooley(2006: 80)

Perbandingan jumlah lilitan antara kumparan primer dan kumparan sekunder menentukan perbandingan tegangan antara kedua kumparan tersebut. Jumlah lilitan, tebal, bahan kawat lilitan, serta besar, bentuk dan bahan menentukan sifat transformator ketika dibebani, yaitu ketika arus mengalir keluar dari kumparan sekunder. Sifat dari transformator adalah berapa arus bisa keluar tanpa menyebabkan transformator menjadi terlalu panas dan berapa resistivitas keluarannya. Karena setiap transformator memiliki resistivitas keluaran, maka kalau ada arus yang mengalir keluar dari kumparan sekunder, maka tegangan akan berkurang. Jadi sifat listrik pada transformator ditentukan oleh tegangan keluaran tanpa beban, resistivitas *output* dan arus maksimal.

Transformator memiliki kumparan primer dan kumparan sekunder, tegangan-tegangan primer dan sekunder pada transformator ideal memiliki hubungan sebagai berikut:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Dimana :

V_p = tegangan pada belitan primer

V_s = tegangan pada belitan sekunder

N_p = banyak lilitan pada belitan primer

N_s = banyak lilitan pada belitan sekunder

I_s = arus pada belitan sekunder

I_p = arus pada belitan primer

Dimana $\frac{N_p}{N_s}$ adalah rasio lilitan dari sebuah transformator. Dengan asumsi transformator ideal, maka bagian primer dan sekunder mempunyai daya (P_p dan P_s masing-masing) identik. Karenanya :

$$P_p = P_s \text{ dimana } V_p \times I_p = V_s \times I_s$$

Dari persamaan diatas maka didapat persamaan sebagai berikut :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \text{ dan } \frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s}$$

Jumlah lilitan menentukan tegangan *output* transformator. Pada *power supply*, jumlah lilitan primer lebih banyak dari jumlah lilitan sekunder, sehingga tegangan *output* transformator akan lebih rendah dari tegangan jala-jala. Hubungan jumlah lilitan terhadap tegangan *output* didapat dari :

$$\frac{N_p}{V_p} = \frac{N_s}{V_s}$$

Transformator juga berfungsi sebagai pengaman, Malvino dalam terjemahan Barmawi dan Tjia (1985 : 48) mengatakan bahwa

"Transformator mengasingkan beban dari jala-jala. Artinya, satu-satunya hubungan dengan jala-jala ialah dengan melalui medan magnet yang menghubungkan belitan primer dengan belitan sekunder. Selanjutnya ini mengurangi bahaya kejutan listrik karena tak ada lagi hubungan listrik yang langsung dengan kedua sisi jala-jala".

Menurut Sabah (2007 : 217) mengatakan

"Penggunaan transformator banyak digunakan untuk berbagai keperluan, sebagai penaik dan penurun tegangan, sebagai pengukuran arus dan tegangan AC (*Alternating Current*), pencocokan impedansi, menghasilkan suplay polyphase, kopling

dalam amplifier yang diatur, untuk osilator dan sumber di sirkuit elektronik".

Berdasarkan pendapat diatas, transformator dalam *power supply* memiliki fungsi, yaitu sebagai penaik tegangan, penurun tegangan, pengkopling sinyal dan sebagai pengaman beban dari jala-jala listrik.

2. Rectifier

Rectifier adalah blok dalam *power supply* yang berfungsi sebagai penyearah, proses penyearahan ini bertujuan untuk menghasilkan tegangan searah / DC (*Direct Current*) dan biasanya proses penyearahan menggunakan komponen dioda.

Menurut Malvino (2016 : 86) mengatakan

“Sebagian besar rangkaian elektronika membutuhkan tegangan DC untuk dapat bekerja dengan baik. Karena tegangan jala-jala adalah tegangan AC (*Alternating Current*) dan nilai tegangannya terlalu tinggi, maka yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah menurunkan tegangannya dan mengubah tegangan AC (*Alternating Current*) ke tegangan DC (*Direct Current*) yang relatif konstan.”

Rectifier atau penyearah gelombang adalah rangkaian elektronika dalam *power supply* (catu daya) yang berfungsi untuk mengubah gelombang AC (*Alternating Current*) menjadi gelombang DC (*Direct Current*) setelah tegangannya diturunkan oleh transformator *step-down*. Rangkaian *rectifier* biasanya terdiri dari komponen dioda. Terdapat 2 jenis rangkaian *rectifier* dalam *power supply* yaitu *Half Wave Rectifier* (penyearah setengah gelombang) yang hanya terdiri dari 1 komponen dioda dan *Full Wave Rectifier* (penyearah gelombang penuh) yang terdiri dari 2 atau 4 komponen dioda. Penyearah yang menggunakan

2 dioda disebut penyearah *center tap* dan yang menggunakan 4 dioda disebut penyearah jembatan atau *bridge*.

Malvino (1984), terjemahan Barmawi dan Tjia (1994: 54) mengatakan "Penyearah jembatan merupakan cara menyearahkan yang paling terkenal karena ia menonjolkan puncak tegangan yang sama dengan penyearah setengah gelombang dan mempunyai nilai rata-rata yang lebih tinggi dari penyearah *center tap*".

Adapun dalam penggunaan penyearah jembatan mempunyai kelebihan dalam penggunaan adalah penggunaan kumparan pada *transformator* lebih sedikit.

Menurut Malvino (2016: 98) mengatakan

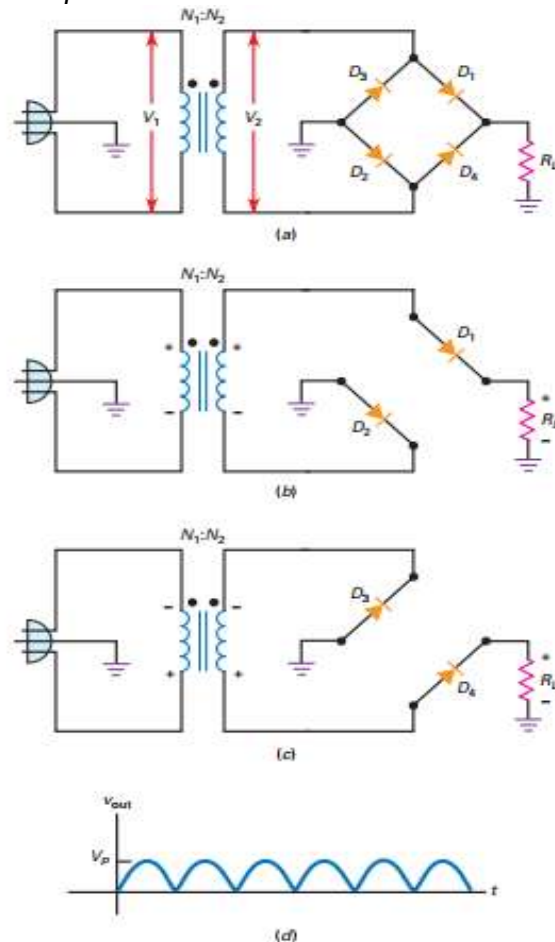
"Penyearah jembatan sebanding dengan dua buah penyearah gelombang penuh dengan dua dioda yang menghasilkan tegangan DC (*Direct Current*) menggunakan tegangan diperoleh dengan transformator yang memiliki rasio gulungan yang lebih besar N_1/N_2 . Ini berarti dengan sebuah penyearah jembatan, akan membutuhkan kumparan yang lebih sedikit untuk transformator. Karena itu, transformator yang digunakan dengan penyearah jembatan bila dibandingkan penyearah gelombang penuh dengan dua dioda akan lebih kecil, lebih ringan, dan biaya akan lebih murah. Ini adalah keuntungan tersendiri dalam penggunaan empat buah dioda (penyearah jembatan) dibandingkan penyearah gelombang penuh dua dioda".

Penyearah (rectifier) memiliki perbedaan istilah dalam konfigurasinya.

Menurut Malvino (2016 : 99) mengatakan

"Penyearah gelombang penuh telah digunakan selama bertahun-tahun sebelum penyearah jembatan digunakan. Karena alasan ini, penyearah gelombang penuh dua dioda tetap bernama penyearah gelombang penuh (*full-wave rectifier*), meskipun penyearah jembatan memiliki gelombang penuh.

Untuk membedakan penyearah gelombang penuh (*full-wave rectifier*) dari penyearah jembatan (*bridge rectifier*), beberapa literatur merujuk penyearah gelombang penuh (*full-waverectifier*) sebagai penyearah konvensional (*conventional full-wave rectifier*) adalah penyearah gelombang penuh dua dioda atau *center-tapped full-wave rectifier*".



Gambar 11. (a) Penyearah Jembatan; (b) ekuivalen sirkuit setengah siklus positif; (c) ekuivalen sirkuit setengah siklus negatif; (d) *output* gelombang penuh

Sumber: Malvino (2016 : 98)

Gambar 11. merupakan bentuk dari penyearah jembatan. Sebuah penyearah jembatan sederhana digambarkan dengan empat buah dioda yang disusun model jembatan. Meski terdiri dari empat buah dioda, pada kenyataannya hanya dua dioda yang bekerja pada masing-masing fase

sinus. Dioda D1 dan D3 memproses tegangan positif dari sinyal sinus, sedangkan D2 dan D4 memproses tegangan negatif dari sinyal sinus.

Tabel 1. Perbandingan 3 macam jenis penyearah (*rectifier*) dan rumusan.

	Half-wave	Full-wave	Bridge
Jumlah dioda	1	2	4
Input penyearah	$V_{p(2)}$	$0.5V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Puncak output (ideal)	$V_{p(2)}$	$0.5V_{p(2)}$	$V_{p(2)}$
Puncak output (2d)	$V_{p(2)} - 0.7V$	$0.5V_{p(2)} - 0.7V$	$V_{p(2)} - 1.4V$
Output DC	$V_{p(out)}/\pi$	$2V_{p(out)}/\pi$	$2V_{p(out)}/\pi$
Frekuensi Ripple	f_{in}	$2f_{in}$	$2f_{in}$

* $V_{p(2)}$ = tegangan puncak belitan sekunder; $V_{p(2)}$ = tegangan puncak output

Sumber: Malvino (2016 : 99)

Berdasarkan Tegangan DC (*Direct Current*) yang dihasilkan dari penyearah gelombang penuh dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$V_{dc} = \frac{2V_{p(out)}}{\pi} = 0,637 * V_{p(out)}$$

Dimana :

V_{dc} = tegangan DC output

$V_{p(out)}$ = tegangan puncak output

3. Filter

Filter atau penapis adalah blok dari *power supply* yang berfungsi sebagai *filter* terhadap riak yang dihasilkan dari keluaran blok penyearah (*rectifier*).

Menurut Malvino (1984) terjemahan Barmawi dan Tjia (1999: 57) mengatakan

"Keluaran penyearah rata-rata adalah tegangan DC (*Direct Current*) yang mempunyai riak. Penggunaan keluaran seperti ini hanya terbatas untuk mengisi baterai, menjalankan motor DC dan sedikit pemakaian lainnya. Yang benar-benar dibutuhkan oleh sebagian besar rangkaian-rangkaian elektronika adalah tegangan DC yang bernilai tetap, sama seperti tegangan yang berasal dari baterai. Untuk mengubah sinyal-sinyal setengah gelombang dan gelombang penuh ke tegangan DC yang tetap, diperlukan sebuah penapis atau *filter*".

Dalam rangkaian *Power supply*, *filter* digunakan untuk meratakan tegangan yang keluar dari *Rectifier*. *Filter* ini biasanya terdiri dari komponen Kapasitor (Kondensator) yang berjenis elektrolit atau ELCO (*Electrolyte Capacitor*).

Menurut Malvino (1979) terjemahan Hanapi gunawan (1992: 70) mengatakan "Prinsip kerja *filter* adalah pengisian dan pembuangan kapasitor sehingga keluarannya hampir merupakan tegangan konstan, perbedaannya dengan DC murni hanyalah pada *ripple* kecil yang disebabkan oleh pengisian dan pembuangan kapasitor".

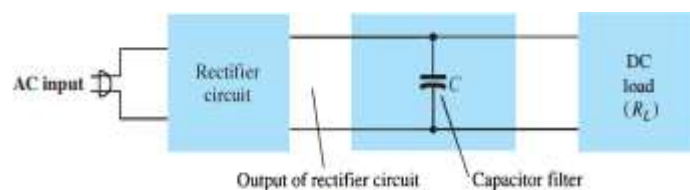
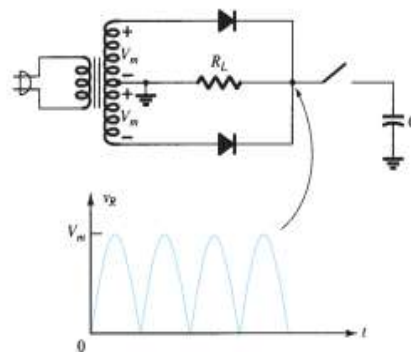
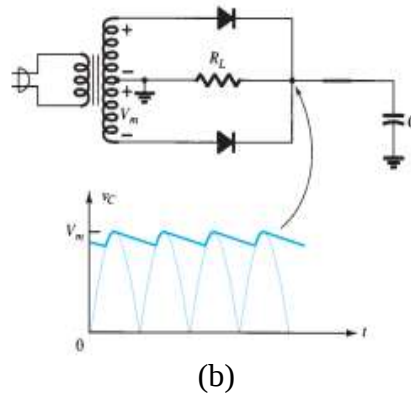


FIG. 15.3
Basic capacitor filter.



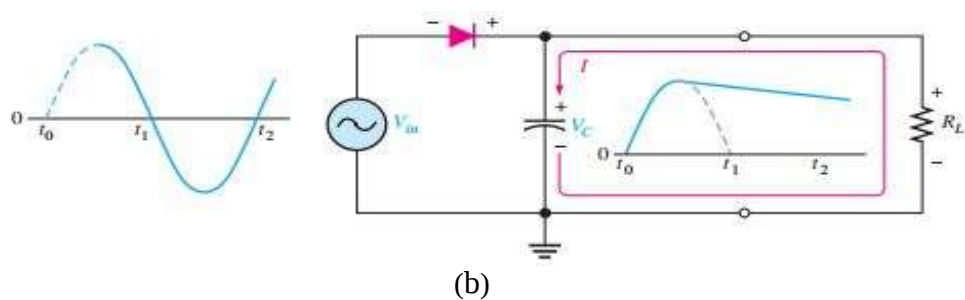
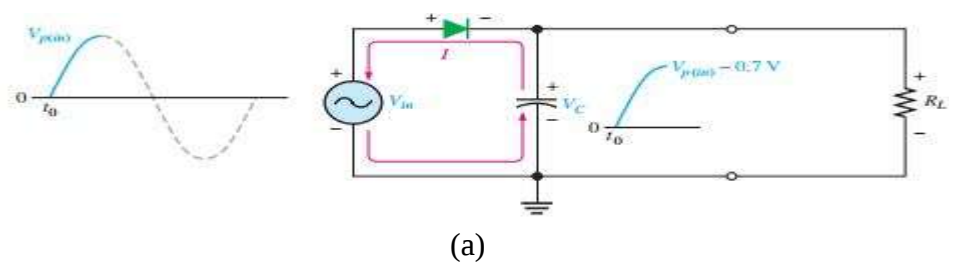
(a)

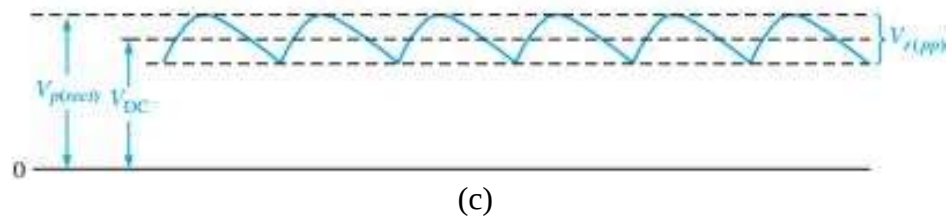


Gambar 12. Cara Kerja *Filter* (a) penyearah gelombang penuh; (b) *filter* tegangan *output*

Sumber: Boylestad (2013 : 786)

Filter bekerja berdasarkan prinsip pengisian dan pengosongan kapasitor. Pada saat dioda *rectifier forward bias*, kapasitor akan mengisi dan menyimpan tegangan sebanyak tegangan yang dihasilkan dioda. Pada saat dioda *reverse bias*, tegangan yang disimpan kapasitor akan dilepaskan sampai tegangan dioda kembali mengisi kapasitor. Hal ini menyebabkan *ripple* yang berasal dari penyearah akan berkurang karena tegangan *output* dari *filter* mendekati tegangan DC murni.





Gambar 13. (a) Cara kerja pengisian Kapasitor (disaat dioda bias maju; (b) cara kerja pengosongan kapasitor (disaat dioda bias mundur); (c) cara menentukan persamaan.

Sumber: Floyd (2012 : 60)

Besar kapasitansi kapasitor sangat berpengaruh terhadap riak atau *ripple* tegangan DC yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan oleh rumus:

$$V_{r(pp)} \cong \left(\frac{1}{fR_L C} \right) V_{p(rect)}$$

$$V_{DC} \cong \left(1 - \frac{1}{2fR_L C} \right) V_{p(rect)}$$

Dimana :

$V_{r(pp)}$	= tegangan riak (<i>ripple</i>) <i>peak-to-peak</i>
V_{dc}	= nilai rata-rata tegangan <i>output filter</i>
F	= frekuensi
$V_{p(rect)}$	= riak tegangan yang belum di <i>filter</i> padapenyearah
C	= kapasitansi kapasitor
RL	= tahanan beban

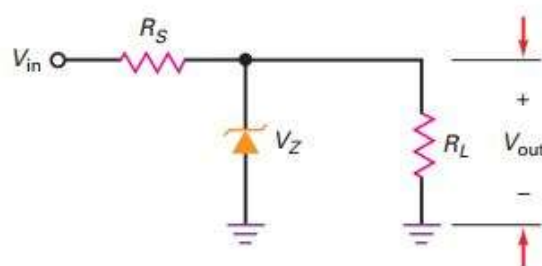
4. Voltage regulator

Untuk menghasilkan tegangan dan Arus DC (arus searah) yang tetap dan stabil, diperlukan *voltage regulator* yang berfungsi untuk mengatur tegangan sehingga tegangan *output* tidak dipengaruhi oleh suhu, arus, beban dan juga tegangan *input* yang berasal *output filter*. *Voltage*

regulator pada umumnya terdiri dari dioda zener, transistor atau IC (*Integrated Circuit*).

Pada *Power Supply DC (Direct Current)* yang canggih, biasanya *voltage regulator* juga dilengkapi dengan *short circuit protection* (perlindungan atas hubung singkat), *current limiting* (pembatas arus) ataupun *over voltage protection* (perlindungan atas kelebihan tegangan).

Malvino (1979) dalam terjemahan Hanapi gunawan (1992: 83) mengatakan bahwa “Cara yang sederhana untuk menyempurnakan pengaturan tegangan adalah dengan regulator zener”. Tegangan yang berasal dari *power supply* digunakan sebagai tegangan *input* terhadap regulator zener. Selama tegangan *input* lebih besar dari tegangan zener (V_Z), dioda zener akan bekerja pada daerah *breakdown*. Dioda zener biasanya digabungkan dengan resistor pembatas seri. Resistor pembatas seri (R_S) berfungsi mencegah arus zener melebihi batas arus maksimum.



Gambar 14 Regulator zener
Sumber: Malvino (2016 : 962)

Menurut Malvino (1979) dalam terjemahan Hanapi gunawan (1992: 83), secara ideal dioda zener berlaku seperti baterai, oleh sebab itu tegangan bebannya konstan. Sebagai contoh misalnya tegangan yang keluar dari *power supply* berubah, selama tegangan ini lebih besar dari

tegangan *breakdown* zener, zener tetap akan bekerja pada daerah *breakdown* sehingga tegangan beban tetap konstan.

$$V_{out} = V_z$$

$$V_z = V_{in} \frac{R_L}{R_L + R_s}$$

Dimana :

V_{out} = tegangan *output*

V_z = tegangan zener

R_L = tahanan beban (*load*)

R_s = tahanan *shunt*

V_{in} = tegangan *input*

D. IC (*Integrated Circuit*) *Voltage regulator*

IC (*Integrated Circuit*) *Voltage regulator* adalah IC yang digunakan untuk mengatur tegangan dirangkaian elektronika. Rangkaian *voltage regulator* ini banyak ditemukan dirangkaian adaptor yang bertugas untuk memberikan tegangan DC, rangkaian *voltage regulator* (pengatur tegangan) merupakan suatu keharusan agar tegangan yang diberikan kepada rangkaian lainnya stabil dan bebas dari fluktuasi.

Menurut Boylestad (2013 : 798) mengatakan bahwa

"Regulator tegangan terdiri dari kelas IC (*Integrated Circuit*) yang banyak digunakan. Unit IC pengatur berisi sirkuit untuk sumber referensi, penguat komparator, perangkat kontrol, dan perlindungan, semua kelebihan ini ada dalam satu IC tunggal. Meskipun konstruksi internal dari IC agak berbeda dari yang dijelaskan untuk rangkaian pengatur tegangan diskrit, operasi eksternal adalah sama. IC mampu meregulasikan baik tegangan tetap positif, tegangan tetap negatif, atau tegangan yang dapat diatur".

Menurut Fiore (2016 : 298) menyatakan bahwa

"Umumnya, regulator tegangan digunakan untuk menjaga potensi pasokan listrik tetap konstan meskipun ada perubahan beban tegangan, arus atau sumber. Tanpa adanya peregulan, beberapa sirkuit dapat rusak oleh fluktuasi tegangan yang terjadi pada catu daya. Bahkan bila perangkat tidak rusak, fluktuasi dapat menurunkan kinerja rangkaian.

Dua bentuk umum disajikan, regulator linier dan regulator *switching*. Kedua bentuk regulator ini berbeda memiliki kelebihan dan kekurangan. Triknya adalah mencari tahu bentuk mana yang berfungsi paling baik dalam situasi tertentu. Berdasarkan penggunaan yang luas dalam desain catu daya modern, banyak regulator telah mencapai tingkatan yang tinggi dalam kecanggihan bagian internal dan kinerja yang kuat. Seringkali, penyertaan IC pengatur tegangan akan selalu tersedia dalam rangkaian catu daya".

Spesifikasi dari suatu regulator yang ideal pada *power supply*

Menurut Kishore (2008 : 174) mengatakan

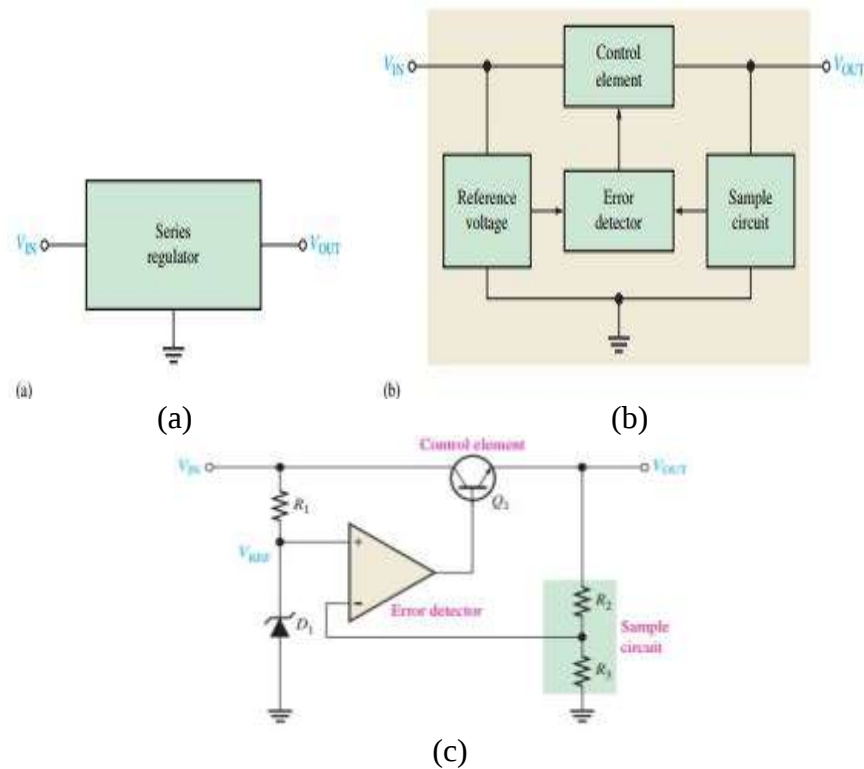
Tabel 2. Spesifikasi dan idealnya nilai suatu *voltage regulator*

Specifications	Ideal Values
Regulation (S_V)	0%
Input resistance (R_i)	∞ ohms
Output Resistance (R_o)	0 Ohms
Temperature Coefficient (S_T)	0 mv/oc
Output Voltage (V_o)	-
Output current range (I_L)	-
Ripple Rejection	0%

1. IC regulator linear

Representasi sederhana dari linear regulator ditunjukkan pada Gambar 15 (a). dan komponen dasar ditunjukkan dalam diagram blok pada Gambar 15 (b). Elemen kontrol adalah transistor *pass* secara seri dengan beban antara *input* dan *output*. rangkaian sampel *output* mendeteksi perubahan tegangan *output*. Detektor kesalahan membandingkan tegangan

sampel dengan tegangan referensi dan menyebabkan elemen kontrol mengkompensasi untuk mempertahankan tegangan *output* konstan.



Gambar 15. (a) *voltage regulator* linear seri; (b) blok diagram regulator linear seri; (c) dasar regulator *op-amp* seri

Sumber: Floyd (2012 : 856)

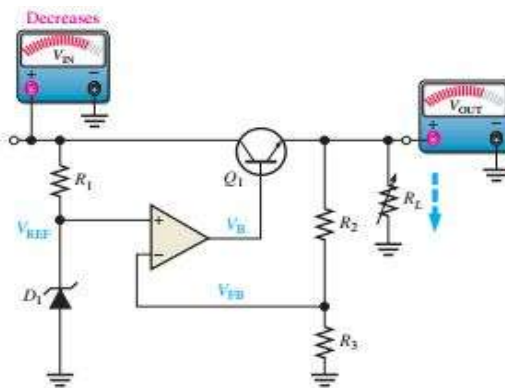
Operasi kerja regulator linear seri diilustrasikan pada Gambar 16. Sebagai berikut. Resistor pembagi tegangan yang dirangkai untuk merasakan perubahan tegangan *output*. Ketika tegangan *output* turun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16. (a), karena penurunan pada V_{in} atau karena peningkatan I_L yang disebabkan oleh penurunan pada R_L , penurunan tegangan proposional di terapkan pada *input inverting op-amp* oleh pembagi tegangan. Karena dioda zener menahan *input op-amp* pada tegangan referensi yang hampir konstan, perbedaan kecil tegangan (*error*

voltage) dikembangkan di seluruh *input op-amp*. Perbedaan tegangan ini diperkuat, dan tegangan keluaran *op-amp* meningkat. Peningkatan ini diberikan pada kaki *base* menyebabkan tegangan *emitor* meningkat sampai tegangan *input inverting* sama dengan tegangan referensi (zener). Tindakan ini mengimbangi upaya penurunan tegangan *output*, sehingga membuatnya hampir konstan. Transistor daya, biasanya menggunakan *heat-sink* karena harus menahan semua arus beban. Tindakan sebaliknya terjadi ketika *output* mencoba meningkat, seperti ditunjukkan pada Gambar 16. (b). *Op-amp* di regulator seri sebenarnya terhubung sebagai penguat *non-inverting* dimana tegangan referensi adalah *input* pada terminal *non-inverting*, dan resistor R2/R3 pembagi tegangan membentuk umpan balik negative. *Gain* tegangan loop tertutup

$$A_{cl} = 1 + \frac{R_2}{R_3}$$

Oleh karena itu, tegangan keluaran diatur dari regulator seri (mengabaikan basis-emitor tegangan dari Q1) adalah

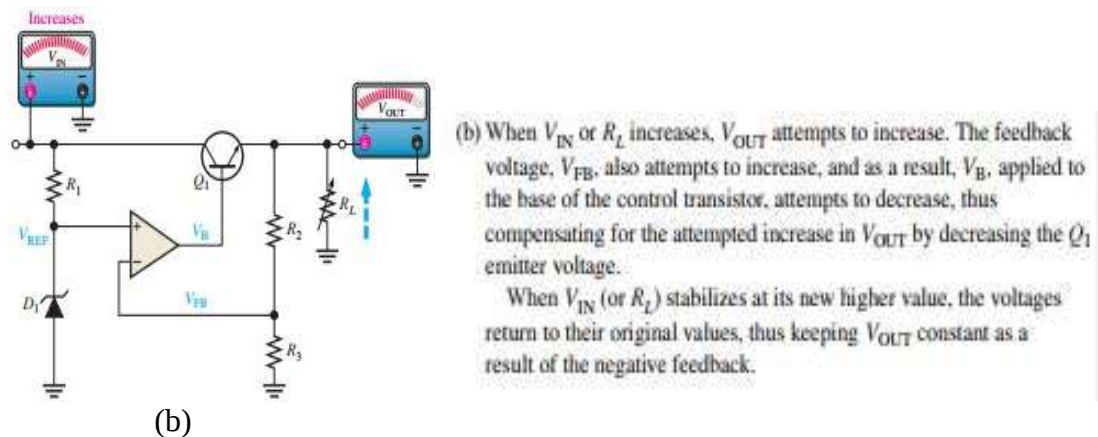
$$V_{out} \cong \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_{ref}$$



(a)

(a) When V_{IN} or R_L decreases, V_{OUT} attempts to decrease. The feedback voltage, V_{FB} , also attempts to decrease, and as a result, the op-amp's output voltage V_B attempts to increase, thus compensating for the attempted decrease in V_{OUT} by increasing the Q_1 emitter voltage. Changes in V_{OUT} are exaggerated for illustration.

When V_{IN} (or R_L) stabilizes at its new lower value, the voltages return to their original values, thus keeping V_{OUT} constant as a result of the negative feedback.



(b)
Gambar 16. Ilustrasi pada regulator seri dimana bekerja untuk membuat V_{out} konstan ketika V_{in} atau R_L berubah.
Sumber: Floyd (2012 : 857)

Dari analisis ini, dapat dilihat bahwa tegangan *output* ditentukan oleh tegangan zener dan resistor dan relatif independen dari tegangan *input*, dan oleh karena itu, regulasi tercapai (selama tegangan *input* dan arus beban berada di dalam batas yang ditentukan).

Untuk lebih mengetahui klasifikasi dari IC regulator linear, Horowitz dan Hill (2015 : 601) mengatakan

"Taxonomy of linear regulator ICs

3-terminal fixed

Pos: 78xx

Neg: 79xx

3-terminal adjustable

Pos: LM317

Neg: LM337

3-term "lower dropout" (adj & fixed)

Pos : LM1117, LT1083-85

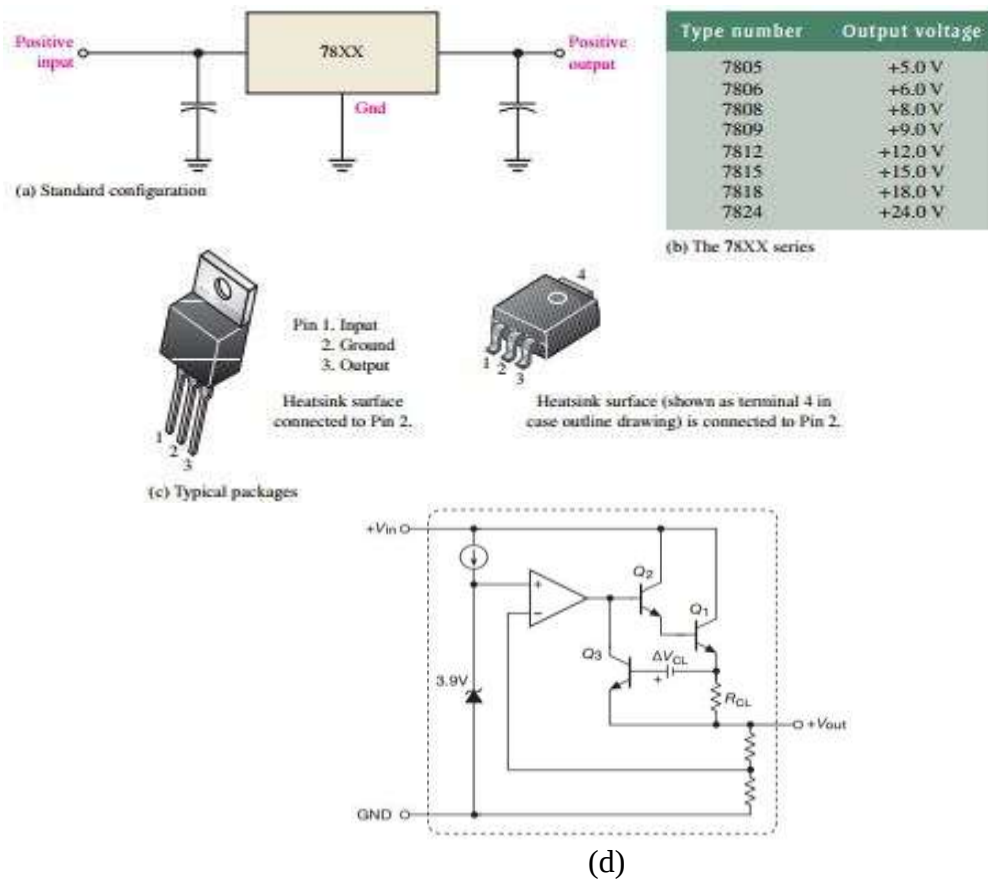
3-term fixed & 4-term adj "true LDO"

Pos : LT1764A/LT1963 (BJT); TPS744xx (CMOS)

Neg: LT1175, LM2991 (BJT); TPS7A3xxx (CMOS)

3-term current reference

Pos : LT3080"



Gambar 17. (a) konfigurasi standar IC 3-terminal 78xx; (b) seri dari IC 78xx; (c) tipikal bentuk IC; (d) skema internal IC 78xx
Sumber: Floyd (2012 : 870), Horowitz dan Hill (2015 : 601)

Kemampuan kerja IC linear regulator 7805 dapat dilihat dari

Tabel 3. Karakteristik IC 3-terminal.

Tabel 3. Karakteristik IC 3-terminal

Part # ^c	V _{in} max (V)	V _{out} ^d nom (V)	Tol (±%)	I _Q typ (mA)	I _{out} max (A)	Cost qty 25 (\$US)
78L05	35	5	5	3	0.1	0.29
78L15	35	15	4	3	0.1	0.31
7805	35	5	4 ^b	5 ^e	1.0	0.47
7824	40	24	4 ^b	5	1.0	0.49
79L05	-35	-5	5	2	0.1	0.30
79L15	-35	-15	4	2	0.1	0.30
7905	-35	-5	4 ^b	3	1.0	0.47
7924	-40	-24	4 ^b	4	1.0	0.56

Sumber: Horowitz dan Hill (2015 : 602)

2. IC regulator *switching*

Dari jenis regulator linier yakni tipe regulator seri, memiliki elemen kontrol (transistor) yang bekerja sepanjang waktu. Dengan jumlah konduksi bervariasi seperti yang dibutuhkan oleh perubahan tegangan atau arus keluaran. Regulator *switching* berbeda karena elemen kontrol beroperasi sebagai saklar. Regulator *switching* termasuk kedalam kelas umum dari konverter DC to DC, karena akan mengkonversi tegangan *input* DC ke tegangan *output* DC yang lain, bisa tegangannya naik ataupun diturunkan. Namun regulator *switching* juga termasuk *voltage regulator*, dimana lebar pulsa modulasi mengendalikan waktu *on-off* dari transistor. Dengan mengubah siklus kerja, regulator *switching* dapat menahan tegangan *output* tetap konstan dibawah bervariasinya kondisi tegangan dan beban.

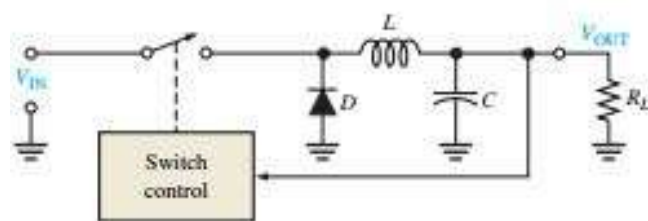
Menurut Floyd (2012 : 881) mengatakan "Efisiensi terbesar dapat direalisasikan dengan tipe *voltage regulator switching* dibandingkan dengan tipe linear karena transistor sebagai saklar *on* dan *off* dan disipasi daya terjadi hanya saat kondisi *on*."

Pada regulator linear transistor selalu hidup dan secara konstan mendisipasi daya secara terus menerus karena bertindak seperti resistor variabel, menyebabkan terjadinya panas dan terbuangnya daya. Pada regulator *switching* transistor hanya beroperasi pada ujung-ujung jalur beban, kecuali selama waktu *switching* yang sangat singkat. Akibatnya, efisiensi lebih besar dari 90%. Regulator *switching* sangat berguna dimana

efisiensi sangat penting, seperti untuk komputer. Konverter yang efisiensi menghindari terjadinya panas yang berlebihan, yang dapat merusak komponen elektronik.

Dari regulator *switching* terdapat 3 konfigurasi dasar yakni *step-down*, *step-up*, dan *inverting*. Menurut Floyd (2012 : 881) mengatakan tiga konfigurasi dasar regulator *switching* adalah *step-down*, *step-up* dan *inverting*. Sesuai dengan penelitian yang akan dibahas yakni IC regulator *switching* dimana pembatasan pada jenis regulator *step-down*.

Konfigurasi *step-down* juga dapat disebut dengan *buck converter*, Dimana sebagai konfigurasi dasar yang sering digunakan bagi regulator *switching*. Disebut sebagai konfigurasi *step-down* karena tegangan *output* selalu kurang dari tegangan *input*. Ide dasar dari tipe *step-down* dapat dilihat dari sirkuit berikut.



Gambar 18. Rangkaian regulator *step-down* sederhana

Sumber: Floyd (2012 : 864)

Kontrol elemen dasarnya adalah skalar dengan kecepatan tinggi, dimana membuka dan menutup terus-menerus dari sirkuit kontrol yang membaca *output*nya, dan menyesuaikan waktu *on* dan *off* untuk menjaga *output* yang diinginkan.

Menurut Malvino (2016 : 989) mengatakan

"Transistor, baik *bipolar junction* atau *power FET (Field Effect Transistor)*, digunakan sebagai perangkat *switching*. Sinyal persegi keluar dari modulator lebar-pulsa menutup dan membuka saklar. Sebuah komparator mengontrol siklus kerja pulsa. Misalnya, modulator lebar-pulsa mungkin merupakan multivibrator dengan komparator yang mengendalikan *input* kontrol"

Prinsip kerja dari regulator *switching* ini menurut Malvino (2016 : 989) adalah

"Ketika pulsa adalah tinggi, saklar tertutup. Ini membalikkan Bias dioda sehingga semua arus masukan mengalir melalui induktor. Arus ini menciptakan medan magnet disekitar induktor. Jumlah energi yang tersimpan dalam medan magnet diberikan oleh :

$$\text{Energy} = 0.5Li^2$$

Arus yang melalui induktor juga mengisi kapasitor dan persediaan arus ke beban. Sementara saklar ditutup, tegangan di induktor memiliki polaritas plus-minus ditunjukkan pada Gambar 19 (b). seperti arus yang melalui induktor meningkat, lebih banyak energi disimpan di medan magnet.

Skalar secara terus menerus membuka dan menutup. Frekuensi dari penskalaran bisa dari 10 hingga lebih dari 100kHz. (beberapa IC regulator *switching* bisa melebihi 1MHz). Arus yang melalui induktor akan selalu pada arah yang sama, melewati saklar atau dioda pada waktu yang berbeda pada suatu siklus.

Dengan *input* tegangan yang stabil dan dioda ideal, tegangan gelombang kotak muncul menuju *choke-input filter* Gambar 19 (d). *Output* dari *choke-input filter* akan setara dengan nilai rata-rata pada *input* menuju

filter. Nilai rata-rata berhubungan dengan *duty cycle* dan dapat diberikan dengan:

$$\begin{aligned}\langle I_{in} \rangle &= I_{out} \frac{V_{out}}{V_{in}} = DI_{out}, \\ \Delta I_{in} &= I_{out}, \\ V_{out} &= V_{in} \frac{t_{on}}{T} = DV_{in}, \\ D &= \frac{V_{out}}{V_{in}}, \\ I_{out(min)} &= \frac{T}{2L} V_{out} \left(1 - \frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \\ &= \frac{T}{2L} V_{out} (1 - D), \\ \Delta I_{C(out)} &= \frac{T}{L} V_{out} (1 - D), \\ I_{L(pk)} &= I_{out} + \frac{T}{2L} V_{out} (1 - D), \\ L_{min} &= \frac{T}{2} \frac{V_{out}}{I_{out}} (1 - D),\end{aligned}$$

Semakin besar *duty cycle*, semakin besar tegangan *output*.

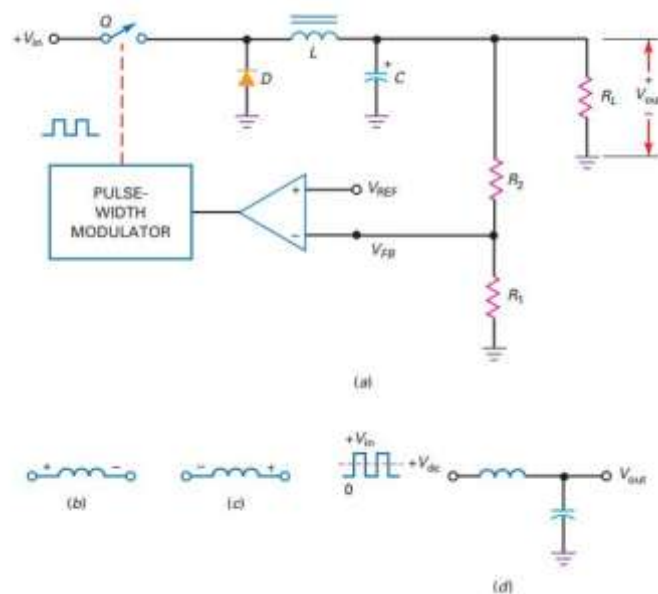
Ketika daya dihidupkan pertama kali, tidak akan ada tegangan *output* dan tidak ada umpan balik dari resistor pembagi tegangan R_1 - R_2 . Karena itu, *output* komparator sangat besar dan siklusnya mendekati 100%. Ketika tegangan *output* terbangun, bagaimana juga, umpan balik tegangan V_{FB} menurunkan *output* komparator, dimana mengurangi *duty cycle*. Pada suatu titik, tegangan *output* akan mencapai nilai yang hampir seimbang dengan umpan balik dimana tegangan menghasilkan *duty cycle* memberikan tegangan *output* yang sama.

Karena tingginya penguatan komparator, dapat diumpamakan antara *input* terminal komparator dengan:

$$V_{FB} \cong V_{ref}$$

Dari sini dapat dibuat rumusan untuk tegangan *output*:

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{ref}$$



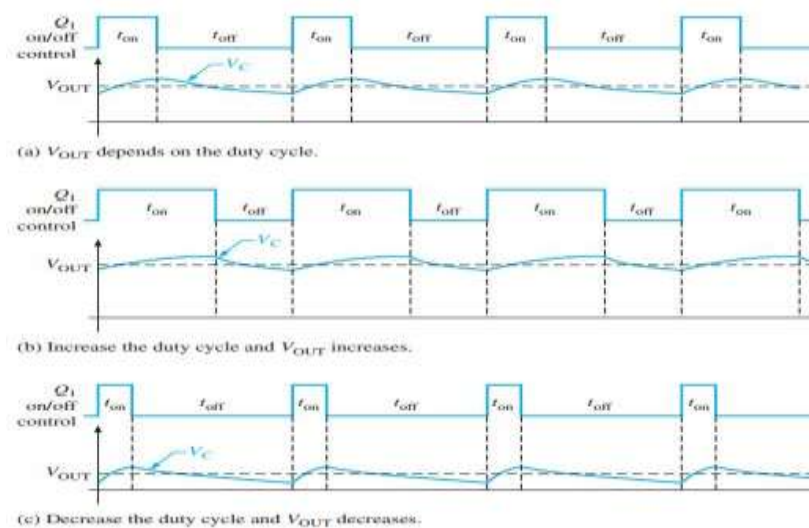
Gambar 19. (a) regulator *buck*; (b) polaritas ketika saklar tertutup; (c) polaritas ketika saklar terbuka; (d) *choke-input filter* melewati nilai DC ke *output*

Sumber: Malvino (2016 : 990)

Interval *on* dan *off* dari Q dapat dilihat gelombang dari Gambar 20 (a). Untuk *n-channel* D-MOSFET, kontrol tegangan mengayun diantara nilai negatif (*off*) ke nilai positif (*on*). Kapasitor mengisi ketika waktu *on* (t_{on}) dan mengosongkan ketika waktu *off* (t_{off}). Ketika waktu *on* meningkat relatif ke waktu *off*, pengisian kapasitor bertambah, sehingga peningkatan tegangan *output*, di indikasikan pada Gambar 20 (b). Ketika waktu *on* mengecil relatif ke waktu *off*, pengosongan kapasitor bertambah,

sehingga menurunkan tegangan *output*, seperti pada Gambar 20 (c). Induktor lebih lanjut menghaluskan fluktuasi tegangan *output* yang disebabkan tindakan pengisian dan pengosongan kapasitor.

Bentuk gelombang V_c menunjukkan tanpa penyangkal induktif untuk mengilustrasikan aksi pengisian dan pengosongan (*riak/ripple*). L dan C menghaluskan V_c ke tingkat yang hampir konstan, seperti yang ditunjukkan oleh garis putus-putus untuk V_{out}



Gambar 20. Gelombang regulator *switching*
Sumber: Floyd (2012 : 865)

Idealnya tegangan *output* dirumuskan dengan

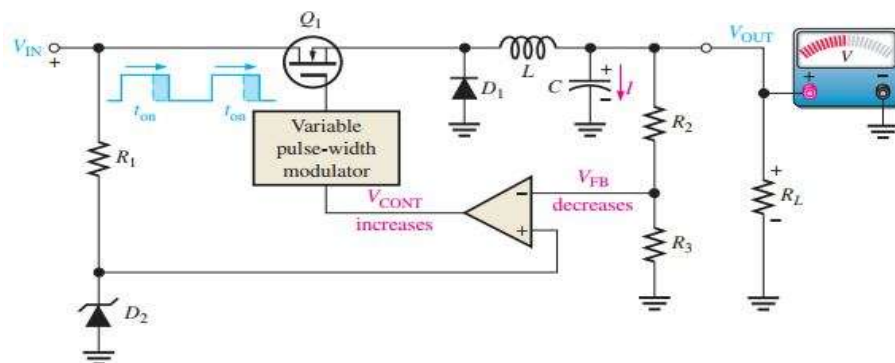
$$V_{out} = \left(\frac{t_{on}}{T} \right) V_{in}$$

T adalah periode dari siklus *on-off* dari Q dan berhubungan dengan frekuensi dimana $T = 1/f$. Periode adalah jumlah dari waktu *on* dan waktu *off*.

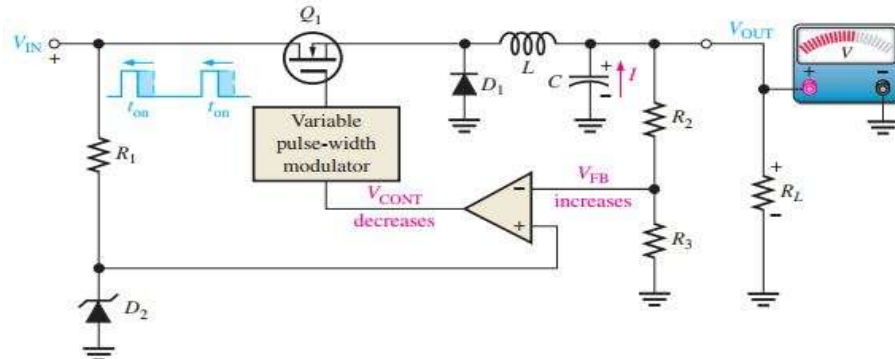
$$T = t_{on} + t_{off}$$

Seperti yang diketahui, rasio $\frac{t_{on}}{T}$ disebut dengan *duty cycle* (siklus kerja).

Ilustrasi dari proses peregulasian adalah pada Gambar 21. Ketika mencoba untuk mengurangi, waktu *on* meningkat, menyebabkan penambahan pengisian pada C untuk mengimbangi upaya penurunan. Ketika mencoba untuk meningkatkan, waktu *on* menurun, menyebabkan pengosongan kapasitor cukup untuk mencoba terjadinya peningkatan.



(a) When V_{OUT} attempts to decrease, the on-time of Q_1 increases.

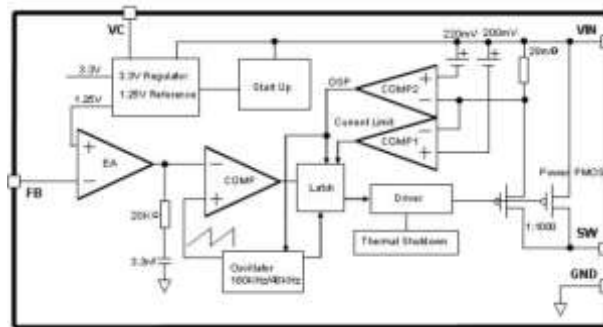


(b) When V_{OUT} attempts to increase, the on-time of Q_1 decreases.

Gambar 21. Ilustrasi proses peregulasian regulator *switching*, (a) ketika V_{out} berusaha turun, waktu *on* pada Q meningkat; (b) ketika V_{out} berusaha naik, waktu *on* pada Q turun

Sumber: Floyd (2012 : 866)

Penggunaan IC regulator *switching* yang akan diteliti yakni IC XL4015. Yang difungsikan sebagai regulator *step-down* untuk menghasilkan tegangan *output* 5 V.



Gambar 22. Diagram Blok IC XL4015

Jadi dapat diartikan dari seluruh pernyataan dari para pakar-pakar tersebut adalah IC (*Integrated Circuit*) regulator adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi sebagai regulasi pada suatu rangkaian catu daya, dan memiliki dua jenis cara pereglasian baik secara linier dan *switching* dan melakukan regulasi tegangan pada catu daya, untuk mengatasi terjadinya fluktuasi pada tegangan *input* agar menghasilkan *output* yang tetap stabil dan tidak terpengaruh terhadap fluktuasi tersebut.

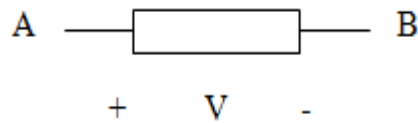
E. Karakteristik *Power Supply* DC

“Mutu catu daya tergantung dari regulasi beban (*load regulation*), regulasi arus (*line regulation*), tahanan keluaran (*output resistance*)”. (Malvino, 2016: 960). "Faktor-faktor lain yang mempengaruhi mutu catu daya tersebut diantaranya regulasi beban, regulasi sumber, impedansi keluaran, penolakan riak, dan lain-lain". (Malvino, 1984, terjemahan Barmawi, 1996: 201-203).

1. Tegangan

Mohammad Ramdani (2008: 3) mengatakan bahwa

"Tegangan (voltage) atau sering disebut “beda potensial”, adalah kerja yang dilakukan untuk menggerakkan muatan sebesar satu coulomb dari satu terminal ke terminal lainnya. Atau, dengan kata lain jika satu muatan sebesar satu coulomb digerakkan atau dipindahkan, maka akan terdapat beda potensial pada kedua terminalnya".



Gambar 23. Beda Potensial Antara Dua Terminal

Pada gambar diatas, terminal A mempunyai potensial yang lebih tinggi daripada potensial di terminal B. Ada dua istilah yang dipakai pada rangkaian listrik, yaitu :

a. Tegangan turun/*voltage drop*

Jika dipandang dari potensial lebih tinggi ke potensial lebih rendah, dalam hal ini dari terminal A ke terminal B.

b. Tegangan naik/*voltage rise*

Jika dipandang dari potensial lebih rendah ke potensial lebih tinggi, dalam hal ini dari terminal B ke terminal A.

2. Arus

“Arus digambarkan dengan symbol I , didefenisikan sebagai perubahan kecepatan muatan terhadap waktu. Pengertian lainnya adalah muatan yang mengalir dalam satuan waktu”. (Mohammad Ramdani, 2008 : 3). Dari definisi diatas dapat disimpulkan bahwa arus adalah muatan yang bergerak. Selama muatan tersebut bergerak maka akan muncul arus,

tetapi ketika muatan tersebut diam maka arus pun akan hilang. Muatan akan bergerak jika ada energy luar yang mempengaruhinya.

Dalam teori rangkaian, arus merupakan pergerakan muatan positif. Ketika terjadi beda potensial di suatu elemen maka akan muncul arus dimana arah arus positif mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah dan arah arus negatif mengalir sebaliknya. Jika terdapat suatu arus yang mengalir pada arah tertentu dengan nilai positif, maka arus tersebut akan bernilai negatif jika mengalir ke arah yang berlawanan.

Ada dua macam arus, yaitu:

a. Arus searah (*Direct Current/DC*)

Arus DC (*Direct Current*) adalah Arus yang mempunyai nilai polaritas yang tetap atau konstan terhadap satuan waktu, artinya ditinjau dari waktu kapanpun nilai polaritasnya akan selalu sama. Nilai polaritas bisa selalu bernilai positif ataupun bernilai negatif.

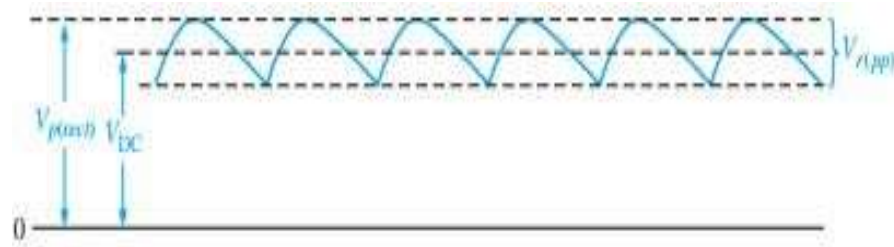
b. Arus Bolak-balik (*Alternating Current/AC*)

Arus AC (*Alternating Current*) adalah arus yang mempunyai polaritas yang berubah-ubah terhadap satuan waktu. Pada satu waktu nilai polaritasnya positif, tetapi pada selang waktu lain nilai polaritasnya negatif.

3. Tegangan *Ripple*

Ripple adalah komponen AC (*Alternating Current*) yang tidak diinginkan pada tegangan DC (*Direct Current*) (Malvino, 1979, terjemahan Hanapi Gunawan, 1992 : 67). Keluaran dari penyearah

merupakan tegangan DC yang berubah-ubah (berdenyut) perubahan ini yang disebut *ripple*. *Ripple* ini kemudian diperkecil oleh kapasitor *filter*. Hasil keluaran *filter* hampir serupa dengan tegangan DC murni yang seharga dengan puncak tegangan masuk, perbedaan dari tegangan DC murni hanya berupa riak kecil yang disebabkan oleh pengaruh kecil dari peralihan antara proses pengisian dan proses pengisian kapasitor penapis (Malvino, 1979, terjemahan Hanapi Gunawan, 1992: 102).



Gambar 24. Tegangan *Ripple*
Sumber: Floyd (2012 : 60)

Tegangan riak atau *ripple* dapat dicari dengan rumus:

$$V_{r(pp)} \cong \left(\frac{1}{fR_L C} \right) V_{p(rect)}$$

$$V_{DC} \cong \left(1 - \frac{1}{2fR_L C} \right) V_{p(rect)}$$

Dimana :

- $V_{r(pp)}$ = tegangan *ripple* puncak-puncak
- $V_{p(rect)}$ = tegangan puncak gelombang belum difilter
- R_L = Tahanan beban
- f = frekuensi
- C = kapasitansi

4. Regulasi beban

“Regulasi beban (disebut juga efek beban) ditentukan sebagai perubahan tegangan keluar yang diatur bila arus beban berubah dari harga

minimum ke harga maksimum” (Malvino, 1984, terjemahan Barmawi, 1996: 201). Rumus untuk mencari regulasi beban adalah:

$$LR = V_{NL} - V_{FL}$$

Dimana :

LR = regulasi beban (load regulation)

V_{NL} = tegangan beban tanpa arus beban

V_{FL} = tegangan beban dengan arus beban penuh

Berdasarkan rumus diatas regulasi beban bisa diartikan perbedaan tegangan *output power supply* sebelum diberi beban dan setelah diberi beban. Regulasi beban sering diungkapkan dalam persen dengan membagi perubahan pada tegangan beban dengan tegangan tanpa beban:

$$\%LR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{NL}} \times 100\%$$

Dimana :

%LR = persen regulasi beban

V_{NL} = tegangan beban tanpa arus beban

V_{FL} = tegangan beban dengan arus beban penuh

5. Stabilitas Tegangan *Input*

Stabilitas tegangan *input* juga mempengaruhi dalam kualitas *power supply*, GC Loveday dalam terjemahan Ignatius Hartono (1986: 28) mengatakan

“Parameter-parameter utama yang harus diukur oleh bagian pengujian atau teknisi penyervis setelah mereka mengembalikan unit daya adalah sebagai berikut:

- a. Tegangan keluaran DC
- b. Arus keluaran DC
- c. Tegangan kerut keluaran pada beban penuh
- d. Stabilisasi terhadap perubahan catu jala-jala

e. Regulasi dari beban nol sampai beban penuh”.

Berdasarkan kutipan diatas, stabilitas tegangan *input* juga mempegaruhi karakteristik *power supply*. Tegangan *input* akan mempengaruhi tegangan *output*. Menurut Blocher (2004: 242) power supply yang baik adalah *power supply* yang perubahan tegangan *output*nya kecil walaupun perubahan tegangan *input*nya besar. Berdasarkan pendapat tersebut maka dapat diartikan bahwa jika pada kondisi normal *power supply* menghasilkan tegangan DC(*Direct Current*) 12V, maka pada saat tegangan sumbernya berubah tegangan *output* dari *power supply* juga harus mendekati 12V.

Menurut GC Loveday dalam terjemahan Ignatius Hartono (1986: 29) “Untuk pengukuran stabilitas, unit harus diberi beban penuh dan diamati perubahan tegangan DC (*Direct Current*) untuk perubahan masukan AC(*Alternating Current*) sebesar 10%. Masukan jala-jala dapat diubah-ubah dengan menggunakan auto-trafo yang dapat disetel”. Berdasarkan pendapat tersebut, untuk mengukur stabilitas tegangan *input* dari power supply, tegangan AC (*Alternating Current*) harus ditambah atau dikurangi sebesar 10%. Jika tegangan AC yang dipakai adalah sebesar 220V, maka tegangan harus dirubah menjadi 242V dan 198V.

6. Daya

Daya adalah perkalian antara tegangan yang diberikan dengan hasil arus yang mengalir. Secara matematis ditulis:

$$P = VI$$

P : Daya

Dimana : V : Tegangan

I : Arus

Blocher (2004 : 8) mengatakan bahwa:

"Biasanya daya listrik ini menjadi panas yang timbul dari gesekan gesekan antara muatan dan bahan yang dialiri. Sebab itu komponen elektronik yang dialiri arus menjadi panas. Suhu akan tergantung dari besar daya P yang diserap didalamnya, kapasitas panas bahan dan resistivitas termis antara komponen dan lingkungan. Kalau daya pada suatu komponen terlalu besar, komponen komponen akan rusak karena kepanasan".

Dari pendapat diatas dapat disimpulkan bahwa daya berhubungan dengan panas, semakin besar daya pada suatu komponen maka komponen tersebut akan semakin panas.

F. Penelitian Yang Relevan

1. Achmad Yani, Gunawan (2017): "Rancang bangun Perangkat Catu Daya Mandiri pada Laptop dengan Memanfaatkan Port USB dan Rangkaian *Joule Thief*". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk pemanfaatan *port USB* dari laptop yang memiliki tegangan DC 5V kemudian dikonversikan ke tegangan AC sebesar 220V menggunakan rangkaian *joule thief* yang dimodifikasi sebagai rangkaian inverter. Keluaran tegangan AC ini selanjutnya diberikan ke adapter AC dari laptop untuk mengisi ulang baterai laptop. Hasil penelitiannya, pada saat rangkaian ini diberikan beban, terjadi penurunan tegangan (*voltage drop*) karena arusnya tidak cukup untuk mensuplai beban. Sebagai solusinya ditambah rangkaian

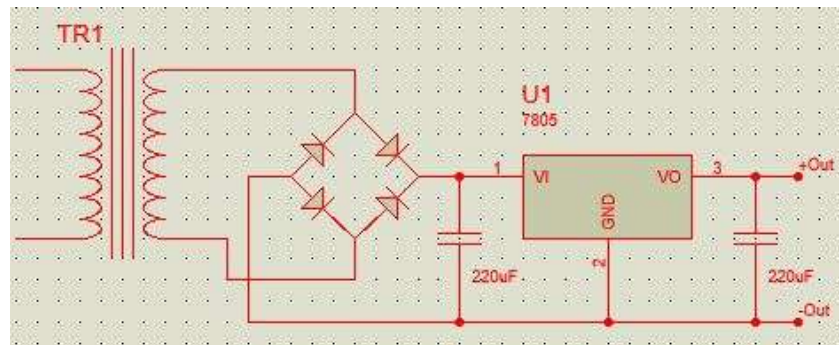
penguat arus (*Current Booster*). Setelah dilakukan pengujian, rangkaian ini juga belum mampu menaikkan arus, sehingga belum terjadi pengisian baterai laptop.

2. Rian Fernanda Utama (2017): "Analisa Perbandingan Karakteristik Power Supply DC Konvensional dengan Power Supply DC Tanpa Transformator". Tujuan penelitian ini untuk melihat perbandingan (komparasi) antara *power supply* DC konvensional dengan *power supply* DC tanpa transformator dilihat dari karakteristiknya, yaitu tegangan *output*, arus *output*, tegangan *ripple*, regulasi beban, stabilitas terhadap perubahan catu jala-jala, daya dan ketahanan dan hasil dari penelitian ini *power supply* konvensional memiliki karakteristik yang lebih baik dari segi arus *output*, dan daya dibandingkan *power supply* tanpa transformator. Sedangkan *power supply* tanpa transformator memiliki karakteristik yang lebih baik dari segi stabilitas terhadap perubahan catu jala-jala dibandingkan *power supply* konvensional. *Power supply* konvensional dan *power supply* tanpa transformator memiliki karakteristik yang sama dari segi tegangan *output* dan ketahanan.

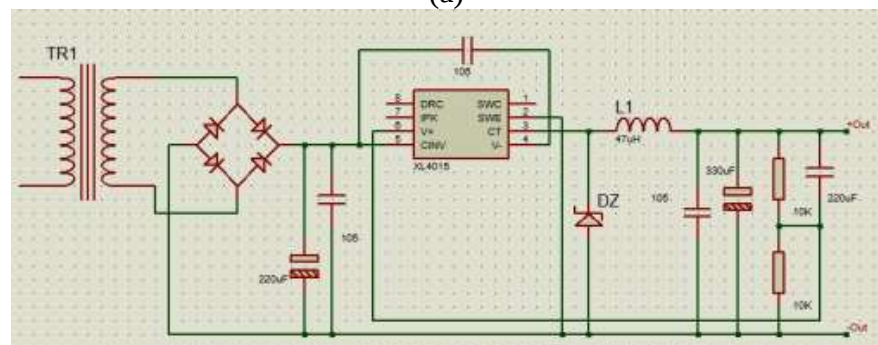
G. Kerangka Berfikir

Penelitian ini dimulai dengan membuat rangkaian *power supply* DC (*Direct Current*) dengan menggunakan IC (*Integrated Circuit*) regulator tegangan Linear (LM7805) dan rangkaian *power supply* DC (*Direct Current*) menggunakan IC (*Integrated Circuit*) regulator tegangan *switching*

(XL4015). Skema rangkaian *power supply* yang digunakan adalah skema rangkaian yang diambil dari *datasheet* komponen. Komponen *rectifier*, *filter*, dan *power supply* dibuat sama agar lebih mudah dalam membandingkan karakteristik keduanya. Setelah *power supply* dirakit kemudian dilakukan pengukuran pada kedua *power supply* tegangan *output*, arus *output*, tegangan *ripple*, regulasi beban, stabilitas tegangan *input*, daya, dan ketahanannya. Hasil pengukuran kemudian di bandingkan dan di analisis sehingga dapat diambil kesimpulan.



(a)



(b)

Gambar 25. Skema Rangkaian Regulator Catu daya Yang Akan Diteliti.

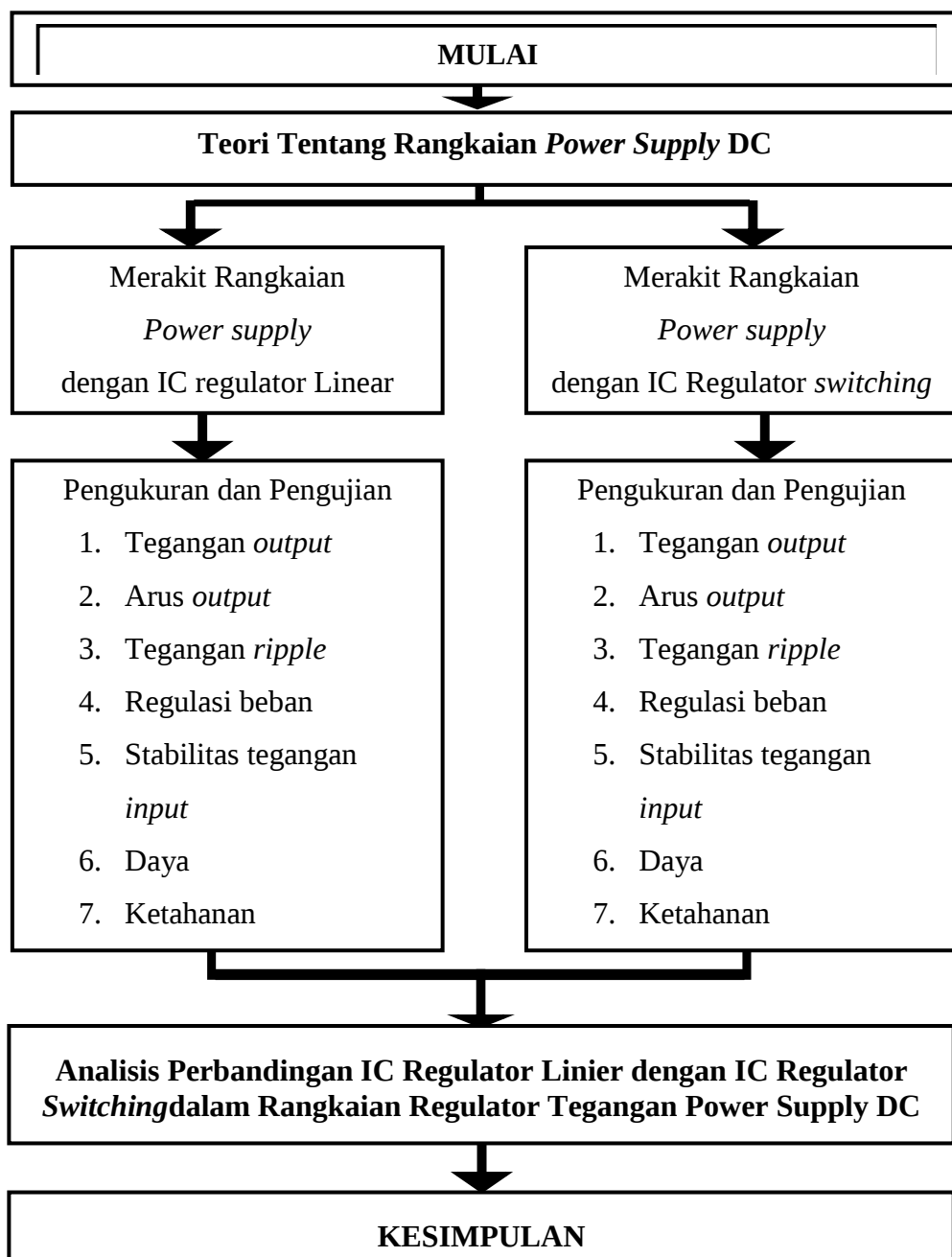
(a) IC Regulator linear LM78XX;

(b) IC Regulator Switching XL4015

Sumber : *Datasheet fairchild semiconductor LM78XX, Datasheet XLsemi XL4015*

Berdasarkan Gambar 25. dapat dilihat bahwa regulator *power supply* yang akan diteliti memiliki perbedaan dalam cara peregulasian tegangannya.

Power supply DC (*Direct Current*) yang menggunakan regulator IC (*Integrated Circuit*) *switching* terdapat penambahan induktor. Pada bagian penyearahan untuk kedua rangkaian *power supply* menggunakan komponen yang bernilai sama, dan dioda *bridge* sebagai penyearah.



Gambar 26. Kerangka Berfikir

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa dari kedua IC *voltage regulator* yang telah diujikan terdapat perbedaan nilai dari segi tegangan *output*, arus *output*, tegangan *ripple*, regulasi beban, stabilitas tegangan *input*, dan daya. Penelitian ini mendapati kedua IC *voltage regulator* tidak bisa mendekati kondisi ideal secara teori karena, karena dari data pengukuran maupun dari data perhitungan menggunakan rumus kedua IC terdapat perbedaan nilai yang dihasilkan.

B. Saran

Berdasarkan kesimpulan dan pembahasan yang sama telah dikemukakan diatas, ada beberapa saran yang diajukan penulis sebagai berikut:

1. Dalam penggunaan perangkat elektronik yang sangat memperhatikan tegangan *ripple* yang dihasilkan, penggunaan regulator *switching* kurang baik karena bisa mempengaruhi kinerja perangkat elektronik tersebut.
2. Dalam penggunaan IC regulator *switching* dianjurkan sebagai regulator yang multifungsi terhadap kebutuhan sumber tegangan yang bervariasi dengan hanya satu IC, pengguna bisa memvariasikan *output* tegangan baik sebagai penurun tegangan ataupun penaik tegangan dibandingkan IC

regulator linier yang hanya mempunyai satu fungsi saja sebagai penurun tegangan.

3. Hasil penelitian ini hendaknya dapat dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya dalam dunia pendidikan. Selain itu bisa dimanfaatkan oleh teknisi dibidang elektronika sebagai bahan acuan dalam merancang rangkaian elektronika.
4. Bagi peneliti selanjutnya yang memiliki ketertarikan dalam bidang elektronika, agar memperluas kajian-kajian yang diberikan, sehingga hasil penelitian yang dikemukakan lebih luas dan lebih dalam lagi.
5. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih mendalam, terhadap parameter pengujian regulator yang belum diuji dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bird, John. 2007. *Electrical and Electronic Principles and Technology*. Third Edition. Oxford: Elsevier Ltd.
- Bishop, Owen. 2011. *Electronics Circuits and Systems*. Fourth Edition. Oxford: Elsevier Ltd.
- Blocher Richard. 2004. *Dasar Elektronika*. Yogyakarta: Andi.
- Boylestad, Robert L, Nashelsky, Louis. 2013. *Electronic devices and circuit theory*. Eleventh Edition. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Coates. Eric. 2017. *Module 1 Power Supply: Power Supply Basics*. Online. www.learnabout-electronics.org/PSU. Diakses pada tanggal 16 Oktober 2018.
- Dorf, Richard C. 2006. *The Electrical Engineering Handbook*. Third Edition. Florida: CRC Press.
- Floyd, Thomas L. 2012. *Electronics devices : electron flow version*. Ninth Edition. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Fiore, James M. 2018. *Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application*. Third Edition. New York: Delmar Thomson Learning.
- Gibilisco, Stan. 2002. *Teach Yourself Electricity and Electronics*. Third Edition. New York: McGraw-Hill Education.
- Gunawan, Achmad Yani. 2017. Rancang Bangun Perangkat Catu Daya Mandiri pada Laptop dengan Memanfaatkan Port USB dan Rangkaian Joule Thief. Jurnal: Politeknik Negeri Medan.
- Horowitz, Paul, Hill, Winfield. 2015. *The Art of Electronics*. Third Edition. New York. Cambridge University Press.
- Kishore, K. Lal. 2008. *Electronic Circuit Analysis*. Second Edition. Hyderabad: BS Publications.
- Loveday, GC. 1986. *Melacak Kesalahan Elektronika*. Diterjemahkan oleh Ignatius Hartono. Jakarta: Gramedia.
- Maloberti, Franco, Davies, Anthony C. 2016. *A Short History of Circuits and Systems*. Denmark: River Publishers.

- Malvino, Albert Paul. 1992. Prinsip-Prinsip Elektronik: Edisi kedua. Diterjemahkan oleh: hanapi Gunawan. Jakarta: Erlangga.
- _____. 1994. Aproksiasi Rangkaian Semikonduktor: Edisi keempat. Diterjemahkan oleh: Barmawi dan Tjia. Jakarta: Erlangga.
- _____. 1996. Prinsip-Prinsip Elektronika. Jilid 2: Edisi ketiga. Diterjemahkan oleh: Barmawi dan Tjia. Jakarta: Erlangga.
- _____. 1999. Prinsip-Prinsip Elektronika. Jilid 1: Edisi ketiga. Diterjemahkan oleh: Barmawi dan Tjia. Jakarta: Erlangga.
- _____. 2016. *Electronics Principles*. Eighth Edition. New York: McGraw-Hill Education.
- Mohamad Ramdhani, 2008. Rangkaian Listrik. Jakarta: Erlangga.
- Rashid, Muhammad H. 2011. *Power Electronics Handbook: devices, circuits, and applications handbook*. Third Edition ed. Oxford: Elsevier Inc.
- Rian Fernanda Utama. 2017. Analisa Perbandingan Karakteristik Power Supply DC Konvensional dengan Power Supply DC Tanpa Transformator. Jurnal: Universitas Negeri Padang.
- Sabah, Nassir H. 2007. *Electric Circuits and Signals*. Third Edition. Florida: CRC Press.
- Sugiyono. 2012. Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Suharsimi. Arikunto. 2010. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*, Edisi Revisi 2010. Jakarta: Rineka Cipta.
- Tooley, Michael. 2006. *Electronic Circuits Fundamentals and Applications*. Third Edition. Oxford: Elsevier Ltd.
- UNP. 2014. Buku Panduan Penulisan Tugas Akhir / Skripsi Universitas Negeri Padang. Padang: UNP Press.