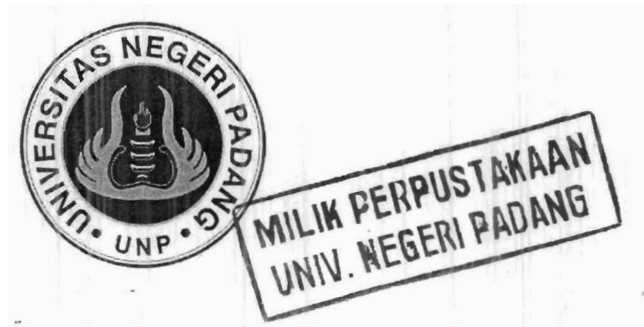


LAPORAN PENELITIAN

DISAIN KOMPENSATOR LEAD DAN PI PADA SISTEM KENDALI TEGANGAN BUCK CONVERTER



Oleh

Irma Husnaini, S.T., M.T
Drs. Amirin Supriyatno, M.Pd

Penelitian ini dibiayai oleh:
Dana DIPA Universitas Negeri Padang Tahun Anggaran 2012
Sesuai dengan Surat Keputusan Rektor UNP No. 449/UN.35.2/PG/2012
Tanggal 25 Juli 2012

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2012

DITERIMA TGL	14-A-2014
SUMBER/HARGA	Hd
KOLEKSI	Ul
NO. INVENTARIS	649/hd / 2014 -d.i.cj
KLASIFIKASI	621.3126 Hus d.1

HALAMAN IDENTITAS
LAPORAN PENELITIAN DANA DIPA UNP Th. 2012

1. Judul Penelitian : Disain Kompenstor Lead dan PI Pada Sistem Kendali Tegangan Buck Converter
2. Bidang Ilmu : Teknologi dan Rekayasa
3. Nama Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap dan Gelar : Irma Husnaini, S.T., M.T.
- b. Jenis Kelamin : Perempuan
- c. Golongan Pangkat dan NIP : Penata./IIIc /19720929 199903 2002
- d. Jabatan Fungsional : Lektor
- e. Jabatan Struktural : -
- f. Fakultas/Jurusan : Teknik / Teknik Elektro
- g. Mata Kuliah yang diasuh : Sistem Kendali
4. Anggota Peneliti : Drs. Amirin Supriyatno, M.Pd.
5. Jumlah Peneliti : 2 orang
6. Alamat Peneliti : Villa Anggrek Blok J/17 Padang
7. Lokasi Penelitian : Lab. Sistem Kontrol & Instrumen Jurusan Teknik Elektro UNP
8. Biaya Penelitian : Rp 7.500.000,- (Tujuh juta Lima Ratus Ribu rupiah)
9. Sumber Dana : DIPA UNP Tahun Anggaran 2012

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UNP



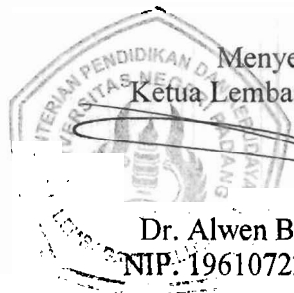
Drs. Ganefri, M.Pd, Ph.D.
NIP. 19631217 198903 1 003

Padang, November 2012
Ketua Peneliti,



Irma Husnaini, S.T., M.T
NIP. 19720929 199903 2002

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian



Dr. Alwen Bentri, M.Pd.
NIP. 19610722 198602 1 002

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan Penelitian.....	ii
Daftar Isi.....	iv
Daftar Gambar.....	vi
Daftar Tabel.....	vii
Abstrak.....	viii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
BAB II. KAJIAN PUSTAKA	
2.1. Buck Converter.....	3
2.2. Kompensator Proposional Integral (PI).....	4
2.2.1. Pengendali Proposional.....	5
2.2.2. Pengendali Integral	5
2.3. Kompensator Lead (fasa maju).....	8
2.4. Kompensator Lead dan PI.....	9
2.5. Pulse Width Modulation (PWM).....	10
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	
3.1. Tujuan Penelitian.....	13
3.2. Manfaat Penelitian.....	13
BAB IV. METODE PENELITIAN	
4.1. Studi Pustaka.....	14
4.2. Perancangan Perangkat Lunak.....	14
4.3. Perancangan dan pembuatan perangkat keras.....	14
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	
5.1. Umum.....	16
5.2. Perancangan perangkat keras dan pengujian	16
5.3. Pembuatan Perangkat keras dan pengujian.....	19
5.3.1. Pengujian Rangkaian Pembangkit Gelombang <i>Sawtooth</i>	20
5.3.2. Pengujian Rangkaian Pembangkit Sinyal PWM.....	21

5.3.3.Pengujian Rangkaian Buck Converter.....	23
BAB VI PENUTUP	
6.1. Kesimpulan.....	26
6.2. Saran.....	26
Daftar Pustaka	
Lampiran	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Topologi <i>buck converter</i>	3
Gambar 2.1. Blok Diagram Sistem Kendali.....	4
Gambar 2.2. Blok diagram sistem dengan elemen pengendali proporsional.....	5
Gambar 2.3. Blok diagram hubungan antara besaran kesalahan dengan kontroler integral.....	6
Gambar 2.5. Realisasi Kompensator PI menggunakan Op-Am	8
Gambar 2.6. Realisasi Kompensator Lead menggunakan Op-Am.....	9
Gambar 2.7. Realisasi Kompensator Lead dan PI menggunakan Op-Am.....	10
Gambar 2.8. Bentuk gelombang kotak (pulse) dengan kondisi high 5 volt dan low 0 volt.....	10
Gambar 2.9. Sinyal referensi.....	11
Gambar 2.10. Sinyal referensi dan PWM.....	12
Gambar 4.1. Diagram blok rancangan sistem kendali tegangan keluaran <i>Buck converter</i>	14
Gambar 4.2. Respon transien system.....	15
Gambar 5.1. Rangkaian buck converter.....	16
Gambar 5.2. Grafik respon rangkaian <i>buck converter</i>	17
Gambar 5.3. Rangkaian kompensator Lead dan PI.....	18
Gambar 5.4. Grafik respon rangkaian <i>buck converter</i> dengan kompensator Lead dan PI tanpa beban dan berbeban	19
Gambar 5.5. Rangkaian pembangkit gelombang <i>sawtooth</i> dan Bentuk gelombang <i>sawtooth</i>	21
Gambar 5.6. Rangkaian pembangkit sinyal PWM dan Bentuk gelombang sinyal PWM.....	22
Gambar 5.7 Respon Keluaran buck converter tanpa beban	23
Gambar 5.8 Respon Keluaran buck converter dengan kompensator Lead dan PI untuk beban 1K Ω dan 470 Ω	24

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil Pengujian tegangan keluaran buck converter.....	25
--	----

PENGANTAR

giatan penelitian mendukung pengembangan ilmu serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian integral dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara pribadi dibiayai oleh dana Universitas Negeri Padang maupun dana dari sumber lain atau bekerja sama dengan instansi terkait.

Selanjutnya dengan itu, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang bersama dengan Pimpinan Universitas, telah memfasilitasi peneliti untuk melakukan penelitian tentang *Disain Kompensator Lead dan Pi Pada Sistem Kendali Buck Converter*, sesuai dengan Surat Penugasan Pelaksanaan Penelitian Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang Tahun Anggaran 2012 Nomor: 2/PG/2012 Tanggal 25 Juli 2012.

Penelitian ini menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pembangunan, khususnya yang berkaitan dengan permasalahan penelitian di atas. Dengan selesainya penelitian ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang dapat memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai bagian upaya dalam peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Di samping itu, hasil penelitian ini juga diharapkan memberikan masukan bagi instansi terkait dalam rangka pelaksanaan kebijakan pembangunan.

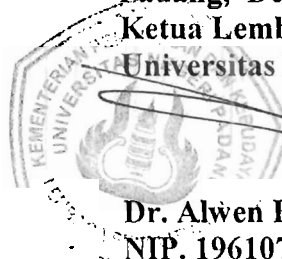
Hasil penelitian ini telah ditelaah oleh tim pembahas usul dan laporan penelitian, untuk tujuan diseminasi, hasil penelitian ini telah diseminarkan ditingkatkan. Mudah-mudahan penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pada umumnya dan khususnya peningkatan mutu staf akademik Universitas Negeri Padang.

Pada kesempatan ini, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu terlaksananya penelitian ini, terutama kepada pimpinan lembaga terkait yang menjadi objek penelitian, responden yang menjadi sampel penelitian, dan tim pererit Universitas Negeri Padang. Secara khusus, kami menyampaikan terima kasih kepada Rektor Universitas Negeri Padang yang telah berkenan memberikan pendanaan bagi penelitian ini. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasamanya yang selama ini, penelitian ini tidak akan dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan dan semoga kerjasamanya yang baik ini akan menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Demikian.

Padang, Desember 2012

Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang,



Dr. Alwen Bentri, M.Pd.

NIP. 19610722 198602 1 002

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk pengendalian tegangan keluaran buck converter agar tetap stabil dalam keadaan perubahan beban. Kontroler yang digunakan pada pengendalian ini merupakan gabungan dari dua kompensator yaitu kompensator Lead dan PI. Kompensator PI mampu menghilangkan kesalahan pada saat keadaan tunak tetapi memiliki respon transien sistem yang kurang baik sedangkan kompensator Lead memiliki respon transien sistem yang baik namun tidak dapat menghilangkan kesalahan pada kondisi keadaan tunak. Pada penelitian ini gabungan dari kedua kompensator tersebut diharapkan dapat saling menutupi kekurangannya dan mampu untuk mengontrol tegangan keluaran dari *buck converter* agar tetap stabil meskipun terjadi perubahan beban. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan kompensator Lead dan PI telah mampu menghasilkan tegangan sebesar 5V dengan tegangan input sebesar 12 V tanpa menimbulkan overshoot, ripple dan kesalahan dalam keadaan tunak dengan waktu untuk mencapai kestabilan sekitar 0.6 dtk dengan beban bervariasi dari $1K\Omega$ sampai $2K\Omega$.

Keyword: Buck converter, kompensator Lead dan PI

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan dan kemajuan teknologi, peningkatan terhadap kebutuhan konverter daya dengan kinerja dinamik yang tinggi dalam banyak aplikasi sangat dirasakan terutama di industri dan penggunaan barang-barang elektronik. DC-dc konverter merupakan salah satu contohnya, dimana konverter ini bisa menghasilkan tegangan atau arus yang dapat diatur sesuai dengan keinginan yang berasal dari power supply atau baterai. *Buck konverter* merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi menurunkan tegangan dc menjadi tegangan dc lain sesuai kebutuhan. Pemilihan konverter dc-dc dikarenakan efisiensinya yang tinggi dalam perubahan daya input ke daya output. Diantara beberapa kriteria kinerja dinamik yang sangat penting untuk dipertimbangkan adalah riak, tegangan output, dan waktu recovery. Keuntungan pada konfigurasi Buck antara lain adalah efisiensi yang tinggi, rangkaiannya sederhana, tidak memerlukan transformer, riak (ripple) pada tegangan keluaran yang rendah sehingga penyaring atau filter yang dibutuhkan pun relatif kecil.

Kekurangan dari konfigurasi *buck konverter* adalah hanya satu keluaran yang dihasilkan, dan tingkat ripple yang tinggi pada arus masukan. Umumnya tegangan output berubah berdasarkan variasi beban atau akibat perubahan tegangan input. Perubahan nilai tegangan output tergantung pada filter induktor dan nilai kapasitor dalam rangkaian dan frekuensi switching serta algoritma kontroler. Jika induktor, kapasitor dan frekuensi switching tetap, perbedaan algoritma kontroler menghasilkan perbedaan respon dinamik. Beberapa hal harus dilakukan untuk memperbaiki respon dinamik tersebut. Oleh karena itu sangat penting menentukan kemungkinan kinerja dinamik terbaik untuk konverter daya. Untuk memperbaiki kinerja sistem dibawah variasi beban diperlukan kontroler.

Metode-metode atau algoritma kendali yang digunakan kontroler dalam proses pengendalian juga telah banyak berkembang. Penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan pengguna akan performansi atau efisiensi tertentu. Makin beragamnya jenis-jenis peralatan yang akan dikontrol melahirkan tuntutan akan kontroler yang dapat menangani bermacam-macam jenis plant. Beberapa model kendali yang dikenal diantaranya adalah kompensator PI

dan kompensator Lead. Agar kinerja dinamik konverter dc-dc terbaik dapat dicapai, kedua kompensator tersebut dapat digunakan untuk memperbaiki kinerja sistem dibawah variasi beban. Kompensator PI mampu menghilangkan kesalahan pada saat keadaan tunak tetapi memiliki respon transien system yang kurang baik sedangkan kompensator Lead memiliki respon transien system yang baik namun tidak dapat menghilangkan kesalahan pada kondisi keadaan tunak. Pada penelitian ini gabungan dari kedua kompensator tersebut diharapkan dapat saling menutupi kekurangannya dan mampu untuk mengontrol keluaran dari *buck converter* agar tetap stabil meskipun terjadi perubahan beban.

1.2. Perumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang yang telah diuraikan, maka yang merupakan pokok permasalahan dari penelitian ini adalah bagaimana mengontrol tegangan keluaran dari *buck converter* agar tetap stabil meskipun terjadi perubahan beban menggunakan gabungan kompensator lead dan PI. Masalah pada penelitian ini dirumuskan dengan merancang dan membuat perangkat keras *plant buck converter* beserta kompensator lead dan PI yang digunakan untuk mempertahankan kestabilan tegangan keluaran *buck converter* meskipun terjadi perubahan beban .

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

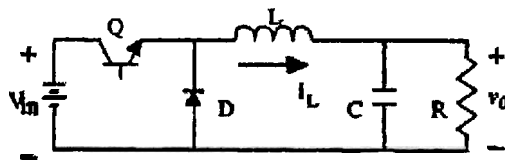
1. Rangkaian *buck converter* beserta kompensator Lead dan PI yang dirancang dengan tegangan input 12 Volt dan tegangan output sebesar 12 Volt
2. Mensimulasikan hasil rancangan rangkaian buck converter tanpa menggunakan kompensator dan menggunakan kompensator Lead dan PI berdasarkan perubahan beban menggunakan multisim
3. Membuat dan mengujicoba rangkaian *buck converter* beserta kompensator Lead dan PI dengan menggunakan beban yang berubah –ubah dari 470Ω - 4700Ω .
4. Hasil uji coba rangkaian *buck converter* beserta kompensator Lead dan PI berupa grafik tegangan keluaran sistem dan besarnya tegangan keluaran buck converter dengan variasi beban

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1. *Buck converter*

Buck converter merupakan jenis konverter yang banyak digunakan dalam industri, khususnya mengenai catu daya. Konverter ini mengkonversikan tegangan dc menjadi tegangan dc lain yang lebih rendah (Tegangan input lebih besar dari pada tegangan output). *Buck converter* terdiri dari satu saklar aktif (mosfet) dan satu saklar pasif (dioda). Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif sering diganti dengan saklar aktif sehingga susut daya yang terjadi bisa dikurangi. Kedua saklar ini bekerja bergantian. Setiap saat hanya ada satu saklar yang menutup. Nilai rata-rata tegangan keluaran konverter sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar aktif terhadap periode pensaklarannya (faktor kerja).

Nilai faktor kerja bisa diubah dari nol sampai satu. Akibatnya, nilai rata-rata tegangan keluaran selalu lebih rendah dibanding tegangan masukannya. *Buck converter* bisa disusun paralel untuk menghasilkan arus keluaran yang lebih besar. Jika sinyal ON-OFF masing-masing konverter berbeda sudut satu sama lainnya sebesar $360^\circ/N$, yang mana N menyatakan jumlah konverter, maka didapat konverter dc-dc N-fasa. *buck converter* multi fasa juga banyak dipakai dalam industri logam yang memerlukan arus dc yang sangat besar pada tegangan yang rendah.



Gambar 1.1. Topologi *buck converter*

Buck converter pada keadaan ideal dengan periode pensaklaran T dan duty cycle D dapat dilihat pada gambar 1.1. Persamaan keadaan *buck converter* dalam bentuk *Continuous Conduction Mode (CCM)* diperoleh berdasarkan hukum kirchof. Ketika saklar ON, arus dinamik pada induktor $I_L(t)$ dan tegangan kapasitor $V_C(t)$ dapat diperoleh dari persamaan berikut;

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(V_m - v_o) \\ \frac{dv_o}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - \frac{v_o}{R}) \end{cases}, \quad 0 < t < dT, \quad Q: ON \dots \dots \dots (1)$$

dan ketika saklar OFF diperoleh persamaan berikut;

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(-v_o) \\ \frac{dv_o}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - \frac{v_o}{R}) \end{cases}, \quad dT < t < T, \quad Q: OFF \dots \dots \dots (2)$$

Sebagai dasar model buck converter terdiri dari dua fungsi alih, model pertama mempengaruhi duty cycle pada output, $G_{vd}(s)$, dan model kedua mempengaruhi tegangan pada output, $G_{vg}(s)$. Bentuk umum fungsi alih sebagai berikut;

$$G_{vd}(s) = \frac{G_{d0}}{\left(s + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0} \right)^2 \right)} \dots \dots \dots (3)$$

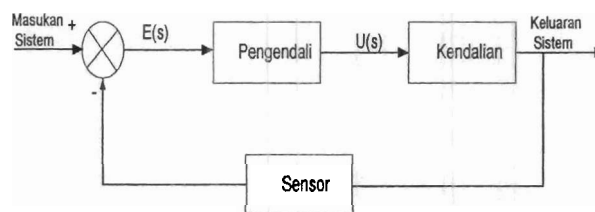
$$G_{vg}(s) = \frac{G_{g0}}{\left(s + \frac{s}{Q\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0} \right)^2 \right)} \dots \dots \dots (4)$$

Dengan

$$G_{g0} = D, \quad G_{d0} = \frac{D}{D}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad Q = R\sqrt{\frac{C}{L}} \dots \dots \dots (5)$$

2.2. Kompensator Proporsional Integral (PI)

Kompensator PI (Proporsional Integral) sering digunakan dalam sistem kontrol industri. Sesuai namanya kompensator PI (proporsional, integral) merupakan kontroler yang mengabungkan 2 buah jenis kontroler dengan karakteristiknya masing-masing. Gambar 2.1. memperlihatkan blok diagram sistem Kendali .



Gambar 2.1. Blok Diagram Sistem Kendali

2.2.1. Pengendali Proporsional

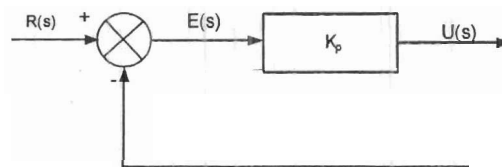
Elemen pertama dari kompensator PI yang akan dikembangkan yaitu kendali proporsional. Dinamika dari pengendali proporsional adalah memberikan suatu nilai dalam bentuk konstanta yang besarnya dapat diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan keluaran sistem yang hendak dicapai. Untuk pengendali proporsional, hubungan antara masukan pengendali $u(t)$ dengan sinyal galat aktuasi $e(t)$ adalah

$$u(t) = K_p e(t) \dots\dots\dots(6)$$

Fungsi alih dari pengendali proporsional adalah

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \dots\dots\dots(7)$$

Blok diagram dari sistem dengan elemen pengendali proporsional dapat digambarkan sebagai berikut



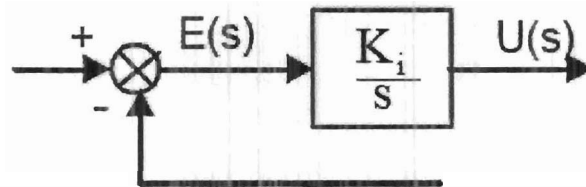
Gambar 2.2. Blok diagram sistem dengan elemen pengendali proporsional

Kekurangan pengendali ini adalah terjadinya kesalahan mantap (galat offset) bila ada perubahan beban. Dengan demikian sistem ini harus dapat direset secara manual dan sebaliknya perubahan beban tidak besar. Error steady state dapat dikurangi dengan memperbesar penguatan, akan tetapi penguatan yang terlalu besar akan mengakibatkan semakin besarnya derau dan sistem menjadi tidak stabil.

2.2.2 Pengendali Integral

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsur integrator ($1/s$), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan controller integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol. Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran

kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Gambar 2.3 menunjukkan blok diagram antara besaran kesalahan dengan keluaran suatu controller integral.



Gambar 2.3. Blok diagram hubungan antara besaran kesalahan dengan kontroler integral

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \dots\dots\dots (8)$$

Atau

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) \dots\dots\dots (9)$$

dengan K_i : konstanta yang dapat diatur.

Fungsi alih Pengendali:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \dots\dots\dots (10)$$

Ketika digunakan, kontroler integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

1. Keluaran kontroler membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga kontroler integral cenderung memperlambat respon.
2. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran kontroler akan bertahan pada nilai sebelumnya.
3. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
4. 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 kontroler.

Kekurangan pengendali proporsional dapat dihilangkan dengan memasukkan elemen pengendali integral. Bentuk persamaan kompensator PI adalah sebagai berikut

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \dots\dots\dots(11)$$

Sehingga fungsi alihnya dapat ditulis sebagai berikut

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) \dots\dots\dots(12)$$

Dengan

K_p = penguatan proporsional

T_i = waktu integral

K_i = penguatan integral

Dua parameter kompensator, K_p dan K_i ditentukan dengan proses perancangan.

Fungsi alih kompensator PI disajikan sebagai

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \dots\dots\dots(13)$$

$$G_c(s) = G_{c0} \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_0}\right)}{s} \dots\dots\dots(14)$$

Fungsi alih loop tertutup buck konverter dengan kompensator PI berdasarkan persamaan ,

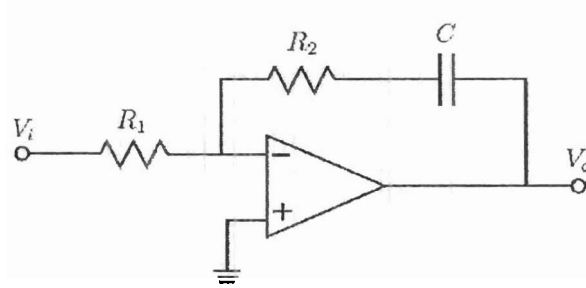
$$T(s) = T_0 G_{c0} \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{s \left(s + \frac{s}{Q_{\omega_0}} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 \right)} \dots\dots\dots(15)$$

Dan

$$\omega_z = \frac{1}{R_2 C} \dots\dots\dots(16)$$

$$G_{c0} = \frac{1}{R_1 C} \dots\dots\dots(17)$$

Sedangkan realisasi kompensator PI berdasarkan gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5. Realisasi Kompensator PI menggunakan Op-Am

Fungsi alih rangkaian kompensator PI dapat ditulis dalam bentuk

$$G_c(s) = -\frac{R_2}{R_1} \left(\frac{R_2Cs + 1}{R_2Cs} \right) \dots\dots\dots(18)$$

Beberapa sifat kompensator Proporsional plus Integral sebagai berikut;

1. Aksi kendali proporsional cenderung menstabilkan sistem
2. Aksi kendali integral cenderung menghilangkan atau memperkecil galat keadaan tunak dari tanggapan terhadap berbagai masukan

2. 3. Kompensator Lead (fasa maju)

Kompensator Lead (fasa maju) digunakan untuk perbaikan respons transient tanpa banyak mempengaruhi respons steady state sistem. Fungsi alih kompensator Lead ditulis dalam bentuk,

$$G_c(s) = \frac{G_{c0} \left(1 + \frac{s}{\omega_z} \right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_p} \right)} \dots\dots\dots(19)$$

Dimana $\omega_z < \omega_p$. Fungsi alih loop tertutup buck converter dengan kompensator Lead ditulis dalam bentuk,

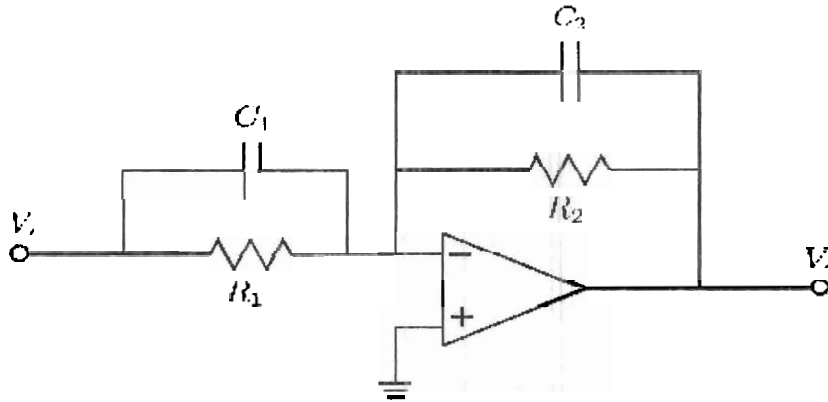
$$T(s) = T_0 G_{c0} \frac{1 + \frac{s}{\omega_z}}{\left(1 + \frac{s}{\omega_p} \right) \left(s + \frac{s}{Q_{\omega_0}} + \left(\frac{s}{\omega_0} \right)^2 \right)} \dots\dots\dots(20)$$

Dan

$$\omega_z = \frac{1}{R_1 C_1} \dots\dots\dots(21)$$

$$\omega_p = \frac{1}{R_2 C_2} \dots\dots\dots(22)$$

Realisasi kompensator berdasarkan gambar dibawah ini



Gambar 2.6. Realisasi Kompensator Lead menggunakan Op-Am

Sehingga fungsi alih rangkaian kompensator lead dapat ditulis ,

$$G_c(s) = -\frac{R_2}{R_1} \left(\frac{R_1 C_1 s + 1}{R_2 C_2 s + 1} \right) \dots\dots\dots(23)$$

2.4. Kompensator Lead dan PI

Kompensator lead baik dalam memperbaiki respon transien, tapi tidak dapat menghilangkan error steady state pada saat gangguan. Kompensator PI mampu menghilangkan error steady state tapi memiliki karakteristik transient yang tidak diinginkan. Kombinasi kedua kompensator dapat memperbaiki respon sistem. Fungsi alih kombinasi kedua kompensator ditulis sebagai,

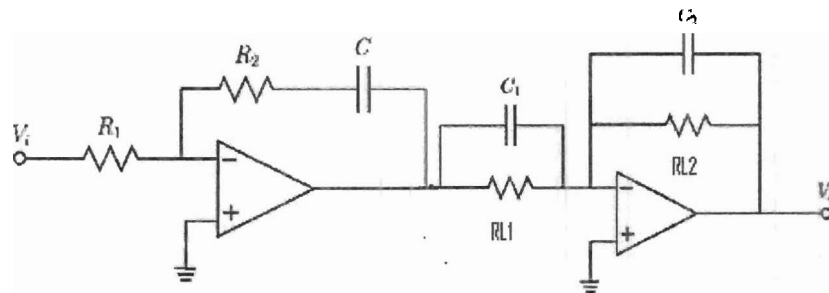
$$G_c(s) = \frac{G_{c0} \left(1 + \frac{s}{\omega_{z1}} \right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{z2}} \right)}{s \left(1 + \frac{s}{\omega_p} \right)} \dots\dots\dots(24)$$

dengan ω_{z2} adalah zero kompensator lead , nilai $\omega_{z2} < \omega_p$ dan $\omega_p = 10 \omega_{z2}$,

$$\omega_{z2} = \frac{1}{R_{L1} C_1} \quad \omega_p = \frac{1}{R_{L2} C_2} \dots\dots\dots(25)$$

$$\omega_z = \frac{1}{R_2 C} \qquad G_{c0} = \frac{1}{R_1 C} \dots\dots\dots(26)$$

Realisasi kompensator Lead dan PI berdasarkan gambar 2.7.



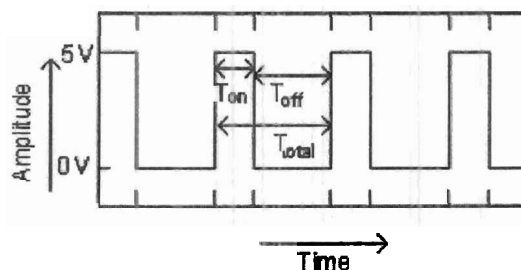
Gambar 2.7. Realisasi Kompensator Lead dan PI menggunakan Op-Am

2.5. Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan suatu mekanisme untuk membangkitkan sinyal keluaran yang mana periodenya berulang antara high dan low dimana kita dapat mengontrol durasi antara sinyal high dan low sesuai dengan yang diinginkan. Duty cycle merupakan prosentase dari sinyal high dan periode sinyal, prosentase duty cycle akan berbanding lurus dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan.

Pengaturan modulasi lebar pulsa atau PWM merupakan suatu teknik yang ampuh dalam sistem kendali (control system) saat ini. Pengaturan lebar pulsa ini dapat digunakan di berbagai bidang, diantaranya untuk kendali kecepatan (speed control), kendali sistem tenaga (power control), dan pengukuran atau instrumentasi dan telekomunikasi (measurement and telecommunication).

Modulasi lebar pulsa diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak, dimana siklus kerja (duty cycle) dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata dari gelombang tersebut.



Gambar 2.8. Bentuk gelombang kotak (pulse) dengan kondisi high 5 volt dan low 0 volt.

T_{on} adalah durasi dimana tegangan keluaran berada pada posisi high dan T_{off} adalah durasi dimana tegangan keluaran berada pada posisi low. Sedangkan T_{total} adalah jumlah dari $T_{on} + T_{off}$ yang biasa dikenal dengan periode satu gelombang. Siklus kerja atau duty cycle sebuah gelombang didefinisikan sebagai

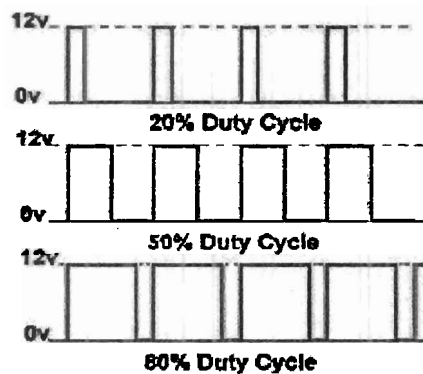
$$D = \frac{T_{on}}{T_{off} + T_{on}} \dots\dots\dots(27)$$

sedangkan untuk tegangan keluaran dapat dirumuskan sebagai berikut

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{off} + T_{on}} \times V_{in} \dots\dots\dots(28)$$

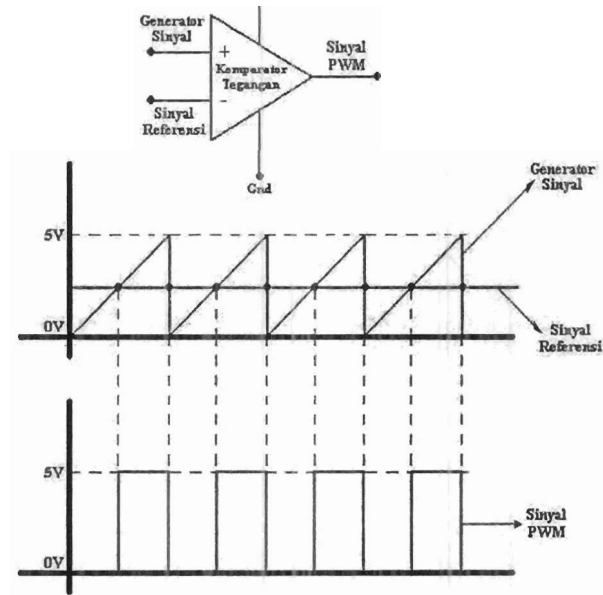
Dari rumus di atas, dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran dapat dirubah dengan merubah nilai T_{on} .

PWM bekerja sebagai switching power supply untuk mengontrol on dan off. Tegangan dc diubah menjadi sinyal kotak bolak-balik, saat on mendekati tegangan puncak dan saat off menjadi nol volt. Berikut adalah gambar sinyal referensi yang merupakan sinyal tegangan dc yang dikonversi oleh sinyal gergaji dan menghasilkan sinyal kotak.



Gambar 2.9. Sinyal referensi

Untuk membangkitkan sinyal PWM, digunakan komparator untuk membandingkan dua buah sinyal masukan, yaitu generator sinyal dan sinyal referensi. Hasil keluaran dari komparator adalah sinyal PWM yang berupa pulsa persegi yang berulang-ulang. Durasi atau lebar pulsa dapat dimodulasi dengan cara mengubah sinyal referensi.



Gambar 2.10. Sinyal referensi dan PWM

Metode PWM banyak digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor, informasi yang dibawa oleh pulsa –pulsa persegi merupakan tegangan rata-rata. Besarnya tegangan rata-rata tersebut dapat diperoleh dari persamaan berikut

$$V_{out} = \frac{V_{ref} \times \text{duty cycle}}{\text{periode}} \dots\dots\dots (29)$$

Dengan kata lain, semakin besar lebar durasi waktu tunda positif (T_{on}) dari sinyal PWM yang dihasilkan, maka putaran motor akan semakin cepat dan demikian juga sebaliknya.

BAB III TUJUAN DAN PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang rangkaian *buck converter* beserta kompensator Lead dan PI
2. Mensimulasikan hasil rancangan rangkaian buck converter tanpa menggunakan kompensator dan menggunakan kompensator Lead dan PI berdasarkan perubahan beban
3. Membuat dan mengujicoba rangkaian *buck converter* beserta kompensator Lead dan PI dengan menggunakan beban yang berubah –ubah.

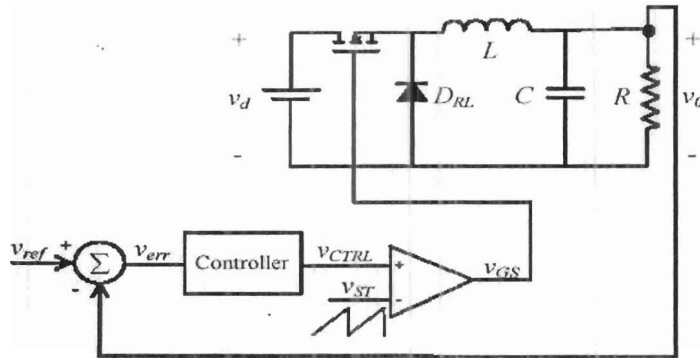
3.2. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat Penelitian ini adalah,

1. Rangkaian buck converter dengan kompensator Lead dan PI yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sumber tegangan konstan sebesar 5 Volt
2. Rangkaian buck konverter sebagai model *plant* dapat digunakan dalam merancang dan menerapkan algoritma pengendalian lain , seperti pengendali PID dan MRLQRI/LTR
2. Tersedia rangkaian kompensator dengan op-amp untuk menerapkan algoritma pengendalian menggunakan kompensator Lead dan PI sehingga dapat digunakan dalam pembelajaran Sistem Kendali (D3), Sistem Kendali Otomastis (D4) dan Sistem pengaturan (S1) di Jurusan Teknik Elektro FT-UNP.

BAB IV METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode eksperimen di laboratorium instrumentasi dan kontrol FT-UNP dalam jangka waktu selama 6 bulan. Prosedur penelitian yang dilakukan berdasarkan rancangan rangkaian pada diagram balok dibawah ini.



Gambar 4.1. Diagram blok rancangan sistem kendali tegangan keluaran *Buck converter*

Realisasi rancangan penelitian yang diperagakan pada Gambar 4.1 dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu :

4.1. Studi Pustaka

Studi pustaka bertujuan untuk mendapatkan informasi yang diperlukan dalam mewujudkan penelitian yang telah dirancang, diantaranya :

- Studi pustaka tentang teknik perancangan rangkaian *buck converter*
- Studi pustaka tentang teknik PWM.
- Studi pustaka tentang perancangan dan penerapan kompensator Lead dan PI.

4.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak (program) pada penelitian ini menggunakan multisim . Multisim digunakan untuk merancang rangkaian dan melihat respon *buck converter* hasil rancangan tanpa kompesantor dan setelah menggunakan kompesantor Lead dan PI.

4.3. Perancangan dan pembuatan perangkat keras

Perancangan dan pembuatan *hardware* yang diperlukan dalam proses pengendalian berdasarkan Gambar 4.1 terdiri dari :

- Perancangan dan pembuatan rangkaian *buck converter*

Rangkaian ini berfungsi sebagai plant yang akan dikendalikan.

b. Perancangan dan pembuatan rangkaian kompensator Lead dan PI

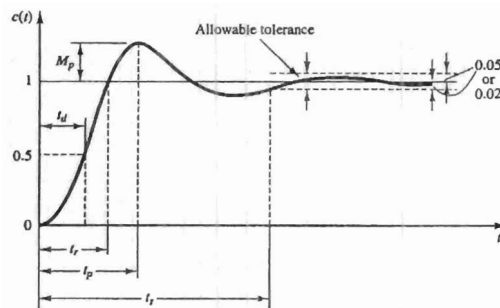
Rangkaian ini berfungsi sebagai pengendali tegangan keluaran *buck converter* tetap stabil dalam keadaan perubahan beban

Setelah rangkaian *buck converter* serta rangkaian kompensator Lead dan PI selesai dirancang dan dibuat, maka tahap berikutnya adalah melakukan pengujian terhadap rangkaian tersebut. Pengujian dilakukan untuk melihat kinerja sistem kendali tegangan keluaran *buck converter*. Pengujian rangkaian dilakukan dengan memberikan beban yang berubah-ubah pada keluaran *buck converter* tanpa menggunakan kompensator Lead dan PI serta dengan menggunakan kompensator Lead dan PI. Data hasil pengujian rangkaian berupa besarnya tegangan keluaran *buck converter* tanpa kompensator Lead dan PI serta dengan kompensator Lead dan PI diperoleh menggunakan osiloscope dan multimeter.

Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan tegangan keluaran *buck converter* tanpa kompensator dan menggunakan kompensator Lead dan PI, analisis juga dilakukan terhadap grafik respon sistem. Adapun analisis terhadap grafik respon yang diperoleh dilakukan sebagai berikut:

a. Menganalisis respon transien sistem

Gambar 4.2 menunjukkan beberapa parameter respon transien sistem yang dapat diuji pada penelitian ini.



Gambar 4.2. Respon transien sistem

b. Membandingkan kinerja kompensator Lead dan PI dalam mempertahankan tegangan keluaran *buck converter* terhadap perubahan beban.

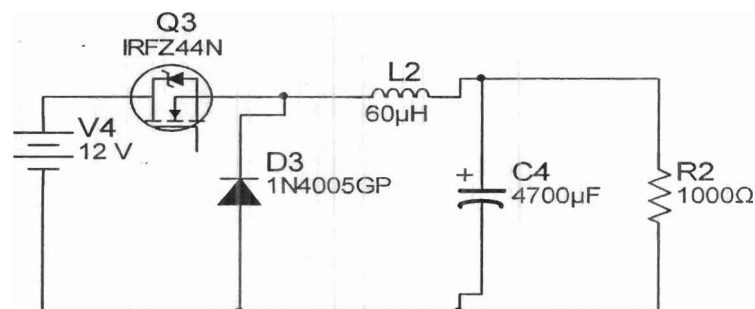
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Umum

Bab ini membahas unjuk kerja hasil perancangan dan pembuatan rangkaian *buck converter* tanpa kompensator dan menggunakan kompensator lead dan PI. Agar hal tersebut dapat dilakukan dengan baik, maka perlu dilakukan pengujian terhadap komponen-komponen yang membangun sistem kendali tegangan keluaran *buck converter* dengan kompensator Lead dan PI tersebut. Pengujian dilakukan pada *hardware* dan *software*. Keberhasilan pengujian tiap blok memberikan jaminan bagi keberhasilan sistem kendali secara keseluruhan.

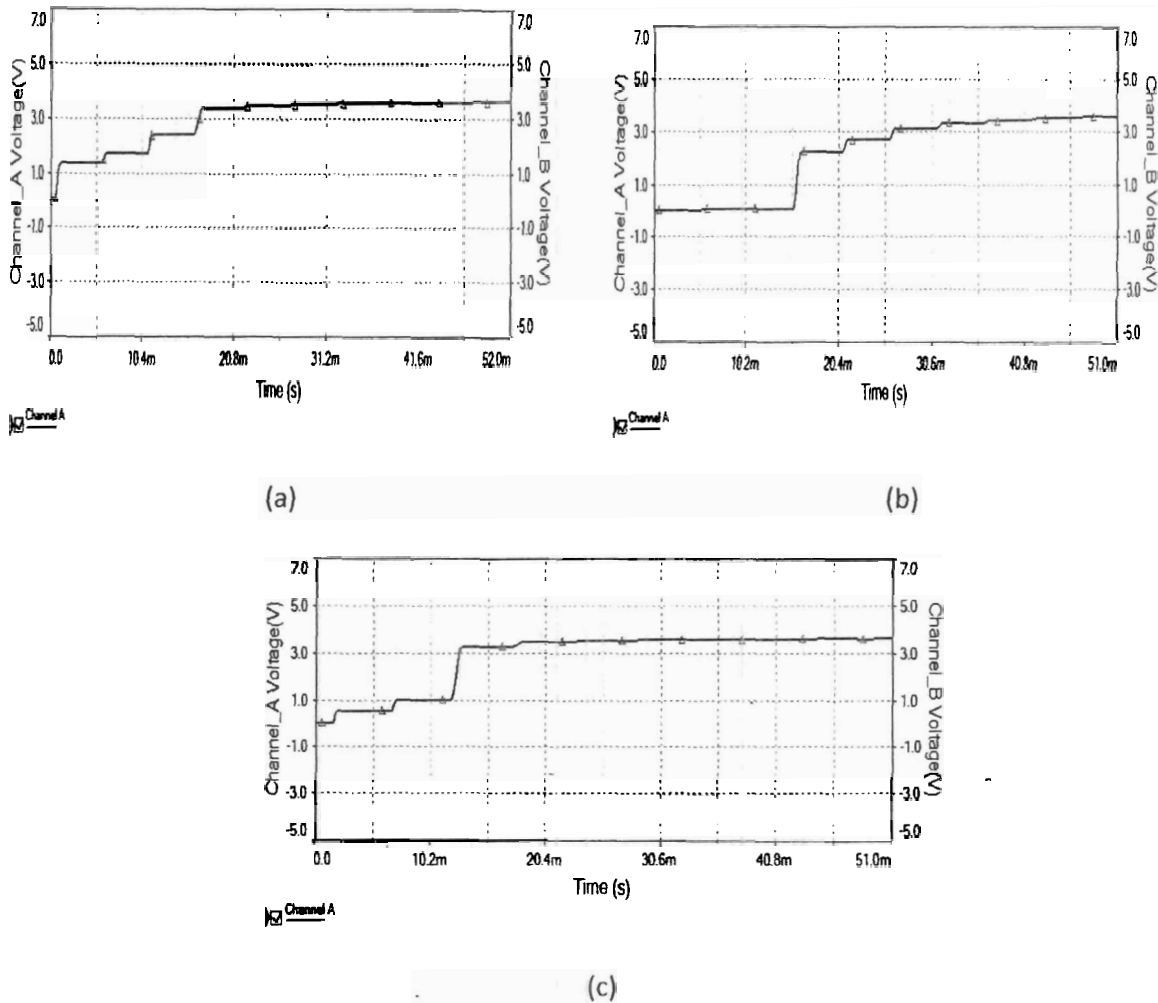
5.2. Perancangan perangkat keras dan pengujian

Perancangan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*) terdiri dari rangkaian *buck converter* dan rangkaian kompensator Lead dan PI. Spesifikasi rancangan yang diinginkan tegangan input *buck converter* sebesar 12 volt dan tegangan output sebesar 5 volt. Gambar 5.1. memperlihatkan hasil perancangan rangkaian *buck converter*.

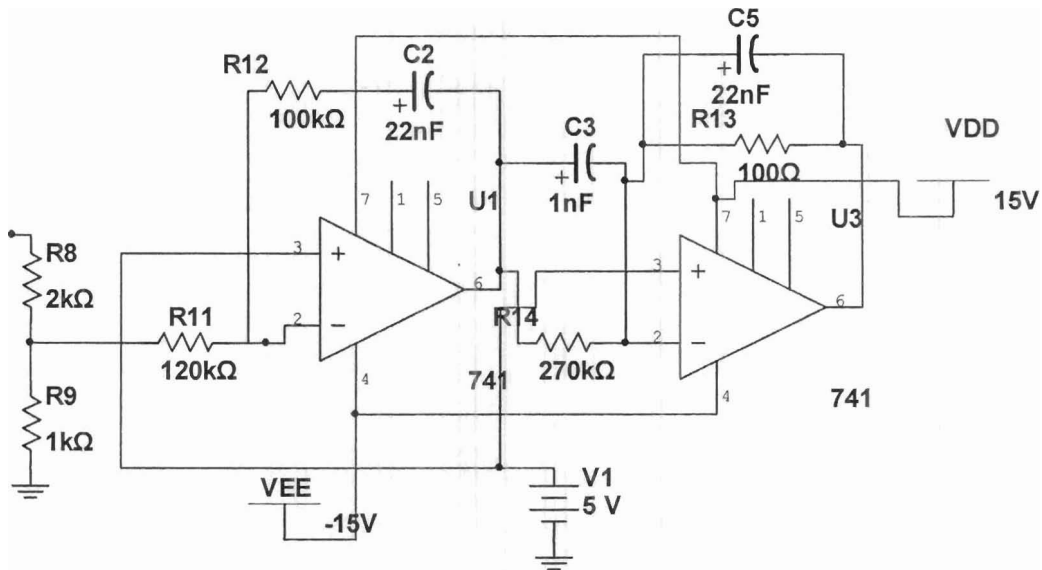


Gambar 5.1. Rangkaian buck converter

Untuk melihat kinerja rangkaian *buck converter* hasil rancangan tanpa dilakukan simulasi menggunakan multisim. Hasil simulasi diperlihatkan pada gambar 5.2.

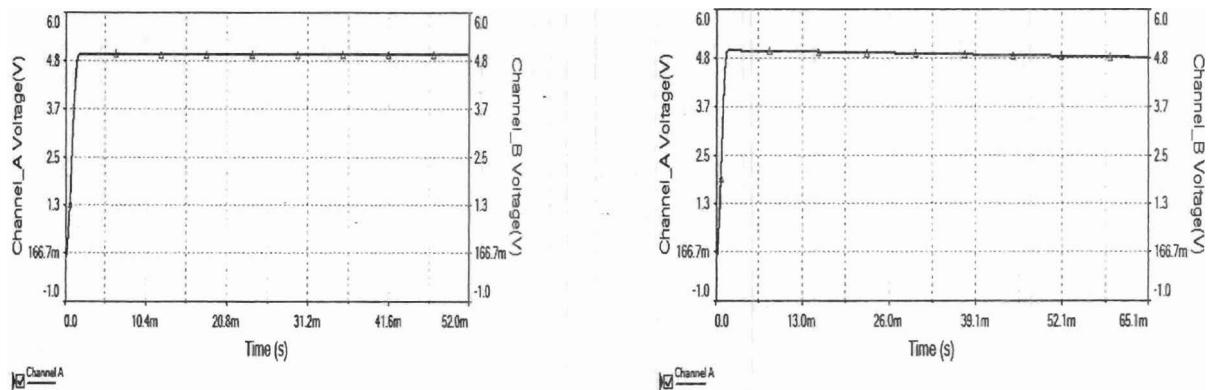
Gambar 5.2. Grafik respon rangkaian *buck converter*(a). Tanpa beban (b). Beban $1K\Omega$ (c) Beban 470Ω

Berdasarkan gambar 5.2. dapat dilihat bahwa tegangan keluaran buck converter tanpa kompensator belum memenuhi kriteria yang diinginkan sebesar 5 volt, disamping itu juga pada respon keluaran sistem terdapat ripple dan error dalam keadaan tunak dengan *settling time* untuk tanpa beban, beban 470Ω dan $1K\Omega$ masing-masing sekitar 17 dtk dan 30,6 dtk. Untuk memperbaiki kinerja sistem dilakukan perancangan kompensator Lead dan PI. Hasil rancangan rangkaian kompensator Lead dan PI diperlihatkan pada gambar dibawah ini.

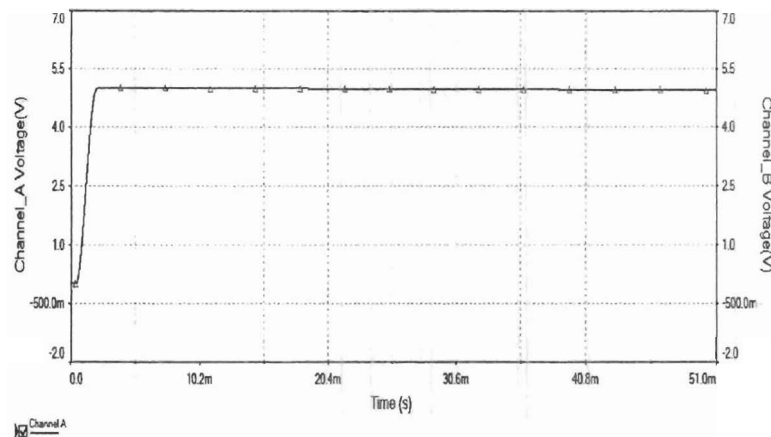


Gambar 5.3. Rangkaian kompensator Lead dan PI

Kinerja rangkain *buck converter* hasil rancangan setelah menggunakan kompesantor Lead dan PI dapat dilihat dengan mensimulasikan rangkaian menggunakan multsim.



(a)



(b)

Gambar 5.4. (a). Grafik respon rangkaian *buck converter* dengan kompensator Lead dan PI tanpa beban dan beban 470Ω

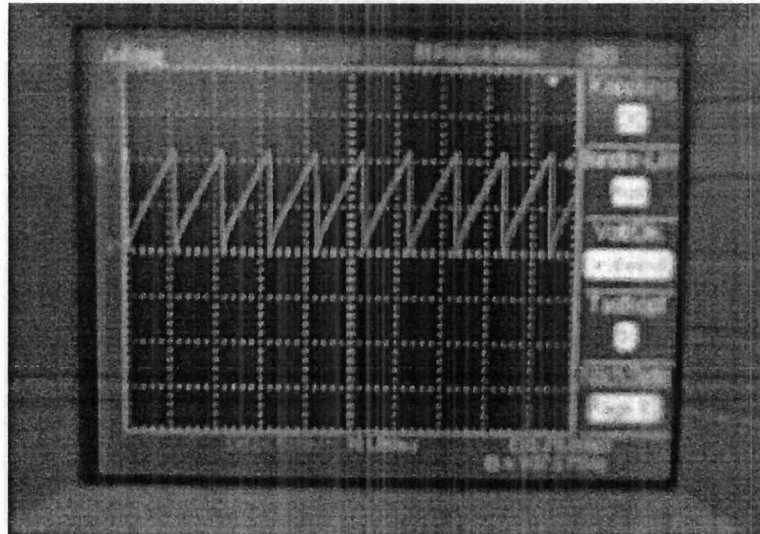
(b). Grafik respon rangkaian *buck converter* dengan kompensator Lead dan PI Dengan beban $1K\Omega$

Gambar 5.4. memperlihatkan hasil simulasi rangkaian buck converter menggunakan kompensator Lead dan PI. Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat bahwa kompensator Lead dan PI mampu memperbaiki kinerja sistem dengan menghilangkan ripple dan kesalahan dalam keadaan tunak untuk tanpa beban dan beban $1K$ dengan *settling time* sekitar 1,5 dtk dan 4 dtk. Simulasi juga memperlihatkan tegangan keluaran buck converter sudah sesuai dengan yang diinginkan yaitu sebesar 5 Volt. Pemberian beban 470Ω menyebabkan tegangan berkurang sebesar 0,2 V setelah 44 dtk dan seting time sebesar 4 detik.

5.3. Pembuatan Perangkat keras dan pengujian

Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh dilakukan pembuatan rangkaian *buck converter* beserta rangkaian kompensator Lead dan PI. Hasil pembuatan rangkaian buck converter dan kompensator Lead dan PI dapat dilihat pada lampiran 1.

Pengujian *hardware* atau perangkat keras dilakukan tiap blok untuk memastikan, tiap blok *hardware* bekerja sesuai dengan desain yang diharapkan. Adapaun alat yang digunakan dalam pengujian adalah;



(b)

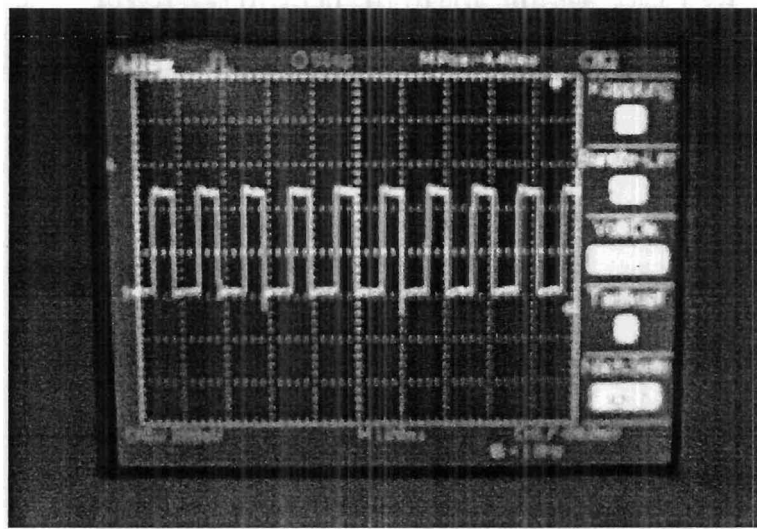
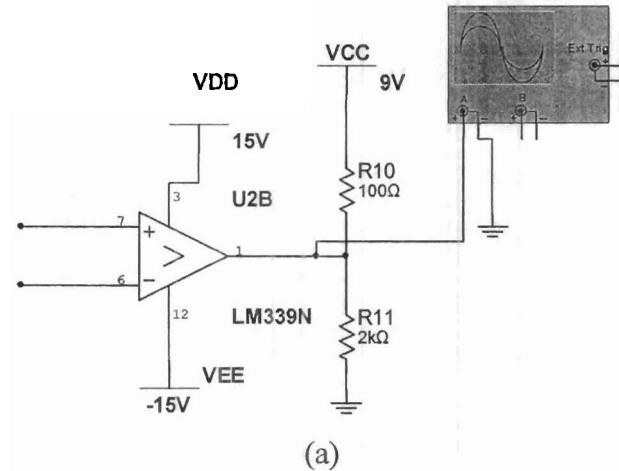
Gambar 5.5. (a) Rangkaian pembangkit gelombang *sawtooth*

(b). Bentuk gelombang *sawtooth*

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dan bentuk sinyal yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Dengan demikian, berdasarkan hasil pengujian, rangkaian pembangkit gelombang *sawtooth* dapat digunakan dalam kendali tegangan *buck converter*.

5.3.2. Pengujian Rangkaian Pembangkit Sinyal PWM

Pengujian rangkaian pembangkit sinyal PWM bertujuan untuk melihat bentuk sinyal rangkaian yang nantinya akan digunakan untuk mentrigger gate pada rangkaian *buck converter*. Rangkaian menggunakan sebuah komparator dengan input pada pin 6 merupakan gelombang *sawtooth* dan pada pin 7 merupakan sinyal dc keluaran kompensator Lead dan PI. Gambar 5.6 memperlihatkan rangkaian pengujian pembangkit sinyal PWM beserta hasil pengujiannya.

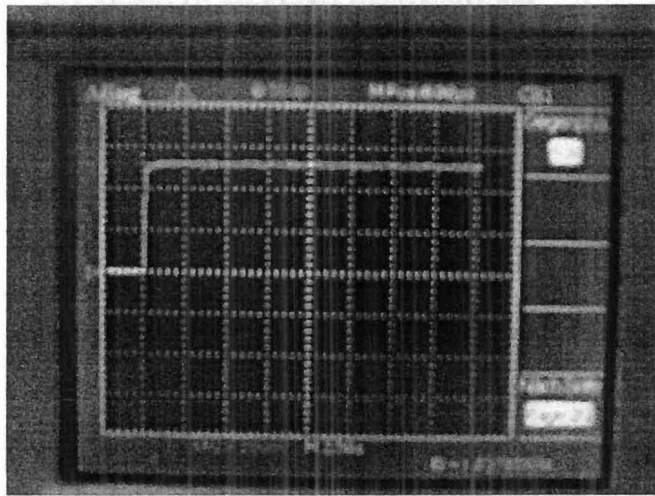


Gambar 5.6. (a) Rangkaian pembangkit sinyal PWM
(b). Bentuk gelombang sinyal PWM

Gambar 5.6 (b) memperlihatkan hasil keluaran dari komparator adalah sinyal PWM yang berupa pulsa persegi yang berulang-ulang. Berdasarkan hasil yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Dengan demikian, pembangkit sinyal PWM dapat digunakan dalam kendali tegangan *buck converter*.

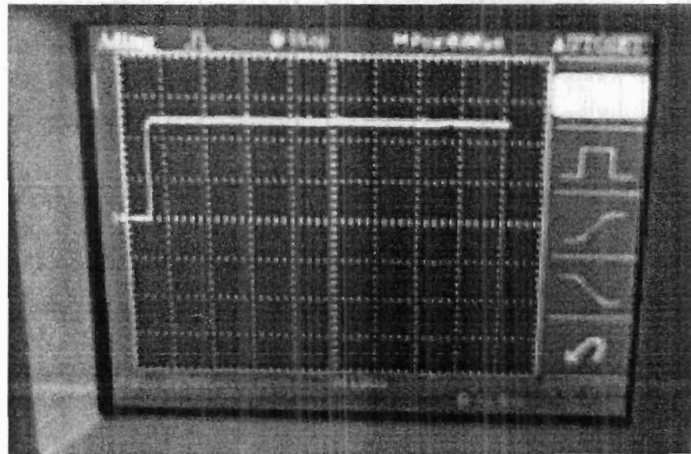
5.3.3. Pengujian Rangkaian Buck Converter

Pengujian rangkaian buck converter bertujuan untuk melihat respon keluaran sistem tanpa kompensator dan menggunakan kompensator Lead dan PI. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban sebesar 470Ω - 4700Ω . Pengujian pertama dilakukan untuk rangkaian buck converter tanpa beban. Hasil pengujian diperlihatkan pada gambar 5.7.

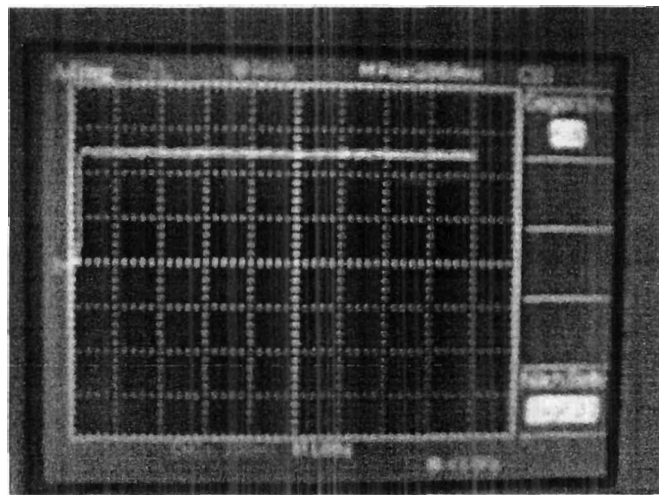


Gambar 5.7 Respon Keluaran buck converter tanpa beban

Berdasarkan Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa tegangan keluaran buck converter dalam keadaan tanpa beban sebesar 5,2 V. Waktu untuk mencapai kestabilan sistem 2,5 detik tanpa menimbulkan overshoot. Pengujian kedua dilakukan terhadap rangkaian *buck converter* dengan menggunakan kompensator Lead dan PI untuk beban 470Ω - 4700Ω . Hasil pengujian tegangan keluaran buck converter diperlihatkan pada gambar 5.8.



(a)



Gambar 5.8 (a). Respon Keluaran buck converter dengan kompensator Lead dan PI untuk beban $1K\Omega$
 (b). Respon Keluaran buck converter dengan kompensator Lead dan PI untuk beban 470Ω

Gambar 5.8 (a) memperlihatkan kompensator Lead dan PI untuk beban $1K\Omega$ mampu menjaga kestabilan tegangan keluaran buck converter yaitu sebesar 5 V dengan *settling time* sebesar 0,6 dtk tanpa menimbulkan overshoot dan error dalam keadaan steady state. Kompensator Lead dan PI tetap mampu menghilangkan overshoot untuk beban 470Ω meskipun tegangan keluaran yang dihasilkan sebesar 4,86 Volt dengan *settling time* sebesar 0.12 dtk.

Untuk hasil pengujian tegangan keluaran buck converter terhadap perubahan beban dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian tegangan keluaran buck converter

No	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Kesalahan (%)
1	470	4,85	2,8%
2	570	4,95	1%
3	1000	5	0%
4	1100	5	0%
5	1200	5	0%
6	1300	5	0%
7	1470	5	0%
8	1500	5	0%
9	1570	5	0%
10	2000	5	0%
11	2200	5,1	2%
12	3200	5,18	3,6%
13	4000	5,18	3,6%
14	4500	5,18	3,6%
15	4700	5,2	4%

Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat bahwa tegangan keluaran *buck converter* tetap stabil sebesar 5 V untuk beban $1K\Omega$ sampai $2 K\Omega$. Rangkaian *buck converter* yang dirancang mampu mempertahankan kestabilan tegangan keluaran sebesar 5 V dengan tegangan input sebesar 12 V.

BAB VI PENUTUP

Serangkaian aktifitas dalam penelitian ini secara keseluruhan dapat mencapai tujuan penelitian yang telah direncanakan. Dari hasil dan bahasan yang telah dikemukakan maka diperoleh beberapa kesimpulan dan saran.

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian, maka dapat tulis beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil rancangan rangkaian *buck converter* beserta kompensator Lead dan PI diperoleh spesifikasi tegangan keluaran buck converter sebesar 5V dengan tegangan input sebesar 12 V
2. Simulasi terhadap hasil rancangan rangkaian buck converter ,diperoleh tegangan keluaran buck converter tanpa kompensator Lead dan PI belum memenuhi kriteria yang diinginkan sebesar 5 volt, disamping itu *settling time* lebih dari 25 dtk dan pada respon keluaran sistem terdapat ripple dan kesalahan dalam keadaan tunak. Penggunaan kompensator Lead dan PI dapat memperbaiki kinerja sistem dengan tegangan keluaran buck converter yang dihasilkan sudah sesuai yang diharapkan sebesar 5 Volt dibawah variasi perubahan beban
3. Dari hasil ujicoba rangkaian buck converter dengan kompensator lead dan PI yang dibuat untuk beban 1K Ω - 2K Ω telah mampu menjaga kestabilan tegangan keluaran *buck converter* sebesar 5 V tanpa menimbulkan overshoot dan kesalahan dalam keadaan tunak dengan *settling time* sebesar 0,6 dtk

6.2. Saran

Untuk menjaga kestabilan keluaran tegangan rangkaian buck converter dapat diterapkan algoritma pengendalian lain , seperti pengendali PID , LTR atau fuzzy logic .

DAFTAR PUSTAKA

- Dorf, R. C. and Bishop, R. H. *Modern Control Systems*. Addison Wesley Publishing Company. 7th Edition .1995.
- Kasat, Saurabh. *Analysis , Design and Modeling of DC-DC Converter Using Simulink*. Bachelor of Engineering Institute of Engineering and Technology Indore, Madhya Pradesh State India. 2004
- Phillips, L. Charles and R.J Widodo,. *Sistem Kontrol:Dasar-dasar*. Edisi Bahasa Indonesia , 3rd Edition. PT Prenhallindo . 1998
- Prodic, Aleksandar. *Design of High Frequency Switch Mode Power Supplies (SMPS)*. Spring.2005
- Qiao, Michael, Parviz Parto and Reza Amirani. *Stabilize The buck Converter with Transkonduktansi Amplifier*. International Rectifier. 2002.
- Tymerski, Richard and Frank Rytkenen: *Control System Design*
- Veeranna, B.Sreenivasappa and Yaragatti Udaykumar. *Elimination of Output Voltage Oscillations in DC-DC Converter Using PWM with PI Controller*. Serbian Journal Of Electrical Engineering, Vol. 7, No. 1,p. 57-68.May 2010.

LAMPIRAN 1. Pengujian Alat

