

Rancang Bangun Modul DC – DC Converter Dengan Pengendali PI

Sutedjo¹, Zaenal Efendi², Dina Mursyida³

¹ Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

² Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

³ Mahasiswa D4 Jurusan Teknik Elektro Industri

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Email: truedhee@student.eepis-its.edu

Abstrak

Pengubah daya DC ke DC (DC-DC Converter) tipe peralihan atau dikenal juga dengan sebutan DC Chopper dimanfaatkan terutama untuk penyediaan tegangan keluaran DC yang bervariasi besarnya sesuai dengan permintaan pada beban. Daya masukan dari proses DC-DC tersebut adalah berasal dari sumber daya DC yang biasanya memiliki tegangan masukan yang tetap. Pada dasarnya, penghasilan tegangan keluaran DC yang ingin dicapai adalah dengan cara pengaturan lamanya waktu penghubungan antara sisi keluaran dan sisi masukan pada rangkaian yang sama. Komponen yang digunakan untuk menjalankan fungsi penghubung tersebut tidak lain adalah switch (solid state electronic switch) seperti misalnya Thyristor, MOSFET, IGBT, GTO. Secara umum ada dua fungsi pengoperasian dari DC Chopper yaitu kenaikan tegangan (Buck Converter), dan penurunan tegangan (Boost Converter). Agar mendapatkan hasil keluaran yang baik (konstan) dari rangkaian DC – DC converter ini maka digunakan pengendali PI sebagai pengendali keluarannya.

Kata kunci : Buck Converter, Boost Converter, PI controller

I. PENDAHULUAN

Tegangan searah atau dc banyak dipergunakan di dalam industri, bukan hanya sebagai sumber daya listrik motor dc, tetapi juga banyak untuk aplikasi yang lain. Biasanya tegangan dc ini didapat dari tegangan ac yang disearahkan dengan komponen semikonduktor seperti dioda, thyristor, mosfet dll. Tegangan dc ini tidak hanya harus tersaring dengan bersih tetapi juga teregulasi dengan baik. Kalau sumber arus searah ini dibebani maka tegangan outputnya akan berubah. Perubahan ini disebabkan oleh jatuhnya tegangan di diode, saluran, transformator atau di generator kalau sumbernya langsung dari generator. Perubahan ini juga disebabkan oleh perubahan tegangan sumber. Perubahan ini tentunya tidak diinginkan, karena akan mengurangi unjuk kerja dari peralatan yang kita pasang. Maka diperlukannya suatu pengendalian tegangan dc, sehingga peralatan yang kita pasang bekerja sesuai dengan kemampuannya. Berdasarkan ide yang membutuhkan tegangan konstan maka dibuatlah suatu alat yang bisa menjaga tegangan konstan.

Dalam sistim perubahan daya dc atau dc-dc converter, terdapat dua tipe yaitu tipe linier dan tipe peralihan atau tipe switching (dc chopper). Tipe linier merupakan cara termudah untuk mencapai tegangan keluaran yang bervariasi, namun kurang diminati karena tingginya daya yang hilang (power loss) pada transistor ($V_{CE} \cdot I_L$) sehingga berakibat rendahnya efisiensi. Sedangkan pada tipe switching, tidak ada daya yang diserap pada transistor sebagai switch. Ini dimungkinkan karena pada waktu switch ditutup tidak ada tegangan yang jatuh pada transistor, sedangkan pada waktu switch dibuka, tidak ada arus listrik mengalir. Ini berarti semua daya terserap pada

beban, sehingga efisiensi daya menjadi 100%. Namun pada prakteknya, tidak ada switch yang ideal.

Kontroller PI juga merupakan salah satu metode pengontrolan yang digunakan untuk menghasilkan output yang konstan. Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing – masing kontroler P dan I dapat saling menutupi dengan menggabungkan keduanya secara paralel menjadi kontroler proporsional plus integral (kontroler PI). Elemen-elemen kontroler P dan I masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Keluaran kontroler PI merupakan jumlahan dari keluaran kontroler proporsional dan, integral. Penyetelan konstanta K_p dan K_i akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Salah satu dari konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah yang akan memberi kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.

II. DASAR TEORI

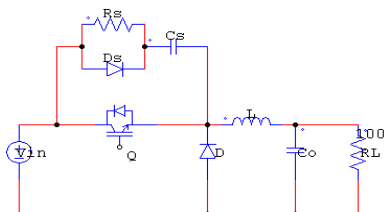
A. Buck Converter

Buck converter mengubah nilai tegangan masukan ke nilai tegangan keluaran yang lebih rendah. Nilai tegangan masukan yang dihasilkan dapat dihitung melalui persamaan dibawah ini:

$$V_0 = D \cdot V_{in}$$

Dalam proyek akhir ini perancangan buck converter yang dikehendaki yaitu dengan tegangan masukan sebesar 39 Volt yang diperoleh dari DC Power Supply dan akan diturunkan dengan mengubah nilai duty cycle dari rangkaian buck converter ini hingga mencapai tegangan keluaran sebesar 15 Volt.

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 yang ditemukan misalnya adalah tidak adanya isolasi antara masukan dan keluaran, hanya satu keluaran yang dihasilkan, dan tingkat ripple yang tinggi pada arus masukan.



Gambar 1. Rangkaian buck converter

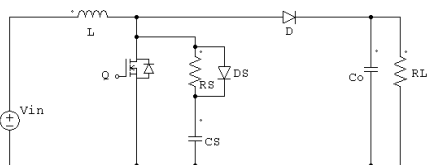
B. Boost Converter

Boost converter bekerja dengan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dari tegangan masukannya. Besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

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

Dalam perancangan proyek akhir ini Boost Converter yang akan dibuat dikehendaki memiliki kemampuan untuk menaikkan tegangan inputnya yang berasal dari DC Power Supply sebesar 12 Volt menjadi 24 Volt dengan arus output hingga mencapai 10 Ampere.

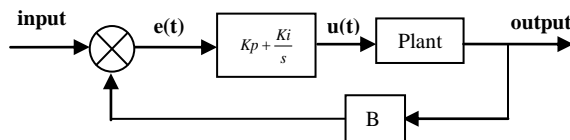
Boost juga memiliki efisiensi tinggi, rangkaian sederhana, tanpa transformer dan tingkat ripple yang rendah pada arus masukan. Tetapi boost tidak memiliki isolasi antara masukan dan keluaran, hanya satu keluaran yang dihasilkan, dan tingkatan ripple yang tinggi pada tegangan keluaran.



Gambar 2. Rangkaian boost converter

C. Perancangan controller PI

Pengendali PI adalah sistem pengendali gabungan antara pengendali proporsional dan integral. Diagram blok pengendali PI dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Blok diagram pengendali PI

Dalam waktu kontinu, sinyal keluaran pengendali PI dirumuskan sebagai :

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right)$$

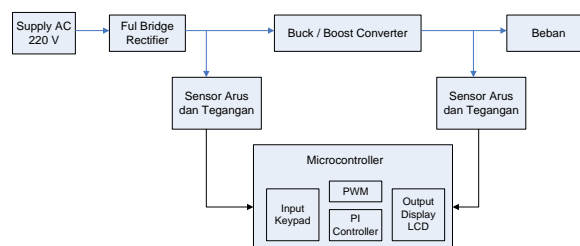
dengan :

- u(t) = sinyal keluaran pengendali PI
- p K = konstanta proporsional
- i T = waktu integral
- i K = konstanta integral
- e(t) = sinyal kesalahan
- e(t) = referensi – keluaran plant

Jadi, fungsi alih pengendali PI (dalam domain s) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{e(t)}{u(t)} = Kp + \frac{Ki}{s}$$

III. RANCANGAN SISTEM



Gambar 4. Blok diagram sistem

Dari Gambar 4 diatas dapat dilihat bahwa perencanaan dan pembuatan serangkaian modul DC – DC Converter antara lain meliputi rangkaian Buck dan Boost Converter dengan menggunakan mikrokontroller sebagai pembangkit pulsa PWMnya dan pengendali PI sebagai pengendali tegangan outputnya.

Dalam sistem ini buck converter bekerja untuk menurunkan tegangan dari 39 volt menjadi 15 volt. Sedangkan boost converter bekerja dengan menaikkan tegangan inputnya sebesar 10 volt menjadi tegangan keluaran sebesar 24 volt.

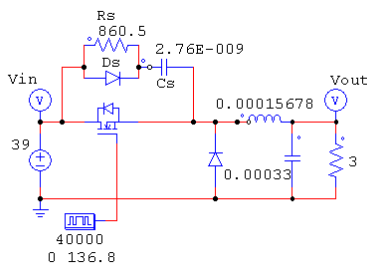
Pada modul ini digunakan mikrokontroler sebagai pembangkit pulsa PWM dari rangkaian buck dan boost converter. Selain itu mikrokontroler juga terhubung pada rangkaian pembaca arus dan tegangan yang terpasang disisi input dan output rangkaian buck dan boost converter. Pembacaan parameter input dan output ini dapat dijadikan sebagai pembanding guna

melihat performa kerja dari rangkaian buck dan boost converter. Performa kerja dari buck dan boost converter juga dipengaruhi oleh proses pembebanan yang berubah-ubah nantinya. Oleh karena itu digunakan pengendali PI untuk mengendalikan kestabilan keluaran dari rangkaian buck dan boost converter ini.

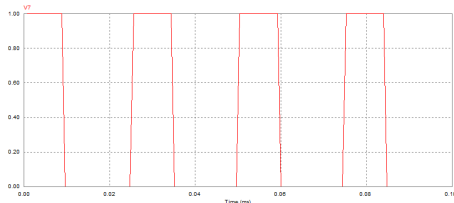
IV. HASIL PENELITIAN MELALUI SIMULASI

A. Buck Converter

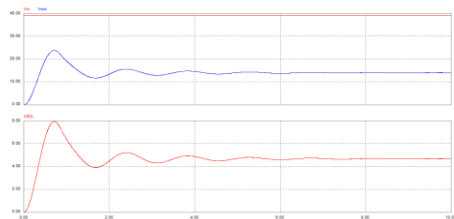
Berikut ini adalah simulasi rangkaian buck converter biasa dengan $V_{in} = 39$ Volt dan akan diturunkan menjadi 15 Volt dengan frekuensi swiching 40KHz.



Gambar 5. Rangkaian buck converter



Gambar 10. Pulsa untuk penyulutan Mosfet Boost Converter



Gambar 11. Tegangan dan arus output

Dengan perhitungan parameter sebagai berikut:

Duty cycle:

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{15}{39} = 0,38 = 38\%$$

Arus rata-rata d induktor:

$$I_L = \frac{V_o}{R} = I_o = 5 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \Delta I_L &= 0,3 \times I_L \\ &= 0,3 \times 5 \\ &= 1,5 \end{aligned}$$

Nilai Induktor:

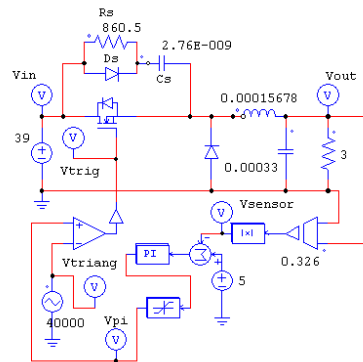
$$\begin{aligned} L &= \left(\frac{1}{f}\right) \times (V_{in} - V_{out}) \left(\frac{V_o + V_f}{V_{in} + V_f}\right) \left(\frac{1}{\Delta I_L}\right) \\ &= \frac{1}{40000} \times (39 - 15) \left(\frac{15 + 0,7}{39 + 0,7}\right) \left(\frac{1}{1,5}\right) \\ &= \frac{1}{40000} \times 24 \times 0,39 \times 0,67 \\ &= 156,78 \mu\text{H} \end{aligned}$$

Capasitor Output

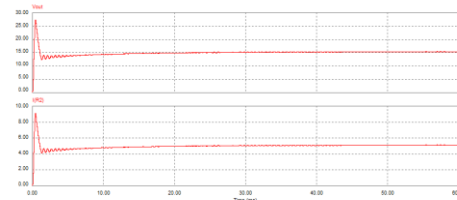
$$\Delta V_o = \pm 0,1\% \times V_o = 0,001 \cdot 15 = 0,015$$

$$\begin{aligned} C_o &= \frac{\Delta I_L}{8 \cdot f \cdot \Delta V_o} \\ &= \frac{1,5}{8 \cdot 40 \cdot 10^3 \cdot 0,015} \\ &= \frac{1,5}{4800} = 312,5 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Dan sebagai pembandingnya berikut ini adalah simulasi rangkaian buck converter dengan menggunakan pengendali PI:



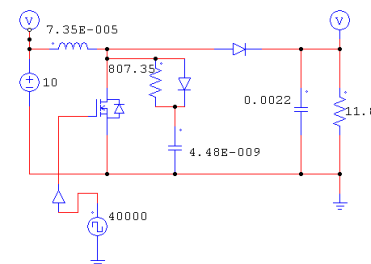
Gambar 12. Rangkaian buck converter dengan pengendali PI



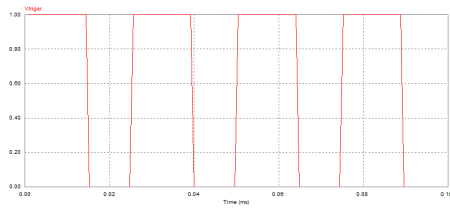
Gambar 13. Tegangan dan arus output yang telah terkontrol

B. Boost Converter

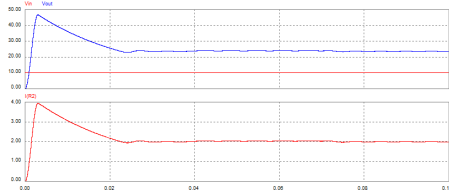
Berikut adalah simulasi rangkaian boost converter biasa dengan $V_{in} = 10$ Volt dan akan dinaikkan menjadi 24 Volt dengan frekuensi swiching 40KHz.



Gambar 14. Rangkaian boost converter



Gambar 15. Pulsa untuk penyulutan Mosfet Boost Converter



Gambar 16. Bentuk tegangan dan arus output

Dengan perhitungan parameter sebagai berikut:

Duty cycle:

$$D = 1 - \frac{V_o}{V_{in}} = 1 - \frac{10}{24} = 0,58 = 58\%$$

Nilai induktor:

$$\begin{aligned} \Delta I_L &= 0,4 \times I_{in} \\ &= 0,4 \times 5 = 2 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \left(\frac{1}{f}\right) \times (V_{out} + V_f - V_{in}) \left(\frac{V_{in}}{V_{out} + V_f}\right) \left(\frac{1}{\Delta I_L}\right) \\ &= \frac{1}{40000} \times (24 + 0,7 - 10) \left(\frac{10}{24 + 0,7}\right) \left(\frac{1}{2}\right) \\ &= \frac{1}{40000} \times 14,7 \times 0,4 \times 0,5 \\ &= 73,5 \mu\text{H} \end{aligned}$$

Arus puncak diode:

$$\begin{aligned} I_{out} &= I_{in} \times \left(\frac{V_{in}}{V_{out} + V_f}\right) \\ &= 5 \times \left(\frac{10}{24 + 0,7}\right) \\ &= 2,02 \end{aligned}$$

$$I_{Dpeak} = \frac{I_o}{D} = \frac{2,2}{0,58} = 3,79 \text{ A}$$

Arus RMS diode:

$$\begin{aligned} I_{D Rms} &= I_{Dpeak} \times \sqrt{D} \\ &= 3,79 \times \sqrt{0,58} \\ &= 3,79 \times 0,76 \\ &= 2,88 \end{aligned}$$

Arus Rms kapasitor:

$$\begin{aligned} I_c Rms &= \sqrt{I_{D Rms}^2 - I_o^2} \\ &= \sqrt{2,88^2 + 2,02^2} \\ &= \sqrt{8,29 + 4,08} = \sqrt{12,37} = 3,52 \end{aligned}$$

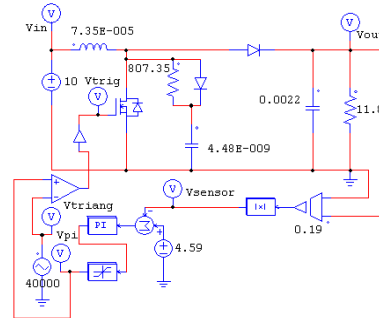
Ripple tegangan output:

$$\begin{aligned} \Delta V_o &= \frac{\Delta Q}{c} = \frac{I_c r_{ms} \times D \times T}{c} \\ \Delta V_o &= \pm 0,1\% \times 24 = 0,001 \times 24 = 0,024 \text{ V} \end{aligned}$$

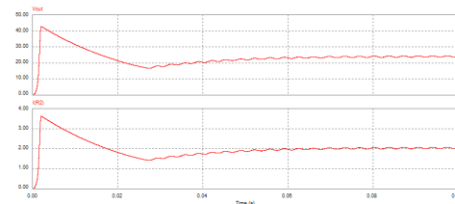
Capasitor Output

$$\begin{aligned} C_o &= \frac{I_c r_{ms} \times D \times T}{\Delta V_o} \\ &= \frac{3,52 \times 0,58 \times 25 \times 10^{-6}}{0,024} \\ &= 2126,7 \mu\text{F} \end{aligned}$$

Dan sebagai pembandingnya berikut ini adalah simulasi rangkaian buck converter dengan menggunakan pengendali PI:



Gambar 17. Rangkaian boost converter dengan pengendali PI



Gambar 16. Bentuk tegangan dan arus output yang telah terkontrol

V. DATA HASIL PENGUJIAN

Dari hasil simulasi yang ada maka dapat diambil beberapa data untuk dibandingkan:

Tabel 1

Hasil pengujian simulasi rangkaian buck converter tanpa controller

No.	Vin	Vout	Iout
1	20	7.87	2.62
2	39	15.36	5.12
3	50	19.69	6.96

Tabel 2

Hasil pengujian simulasi rangkaian buck converter dengan controller

No.	Vin	Vout	Iout
1	20	14.57	4.86
2	39	15.01	5.00
3	39	15.16	5.05

Tabel 3

Hasil pengujian simulasi rangkaian boost converter tanpa controller

No.	Vin	Vout	Iout
1	5	12.09	1.02
2	10	24.18	2.04
3	30	72.55	6.14

Tabel 4
Hasil pengujian simulasi rangkaian buck converter dengan controller

No.	Vin	Vout	Iout
1	5	22.89	1.39
2	10	24.15	2.04
3	30	39.29	3.32

Setelah dilakukan simulasi maka berikut adalah data hasil pengujian langsung rangkaian buck dan boost converter tanpa pengendali PI yang telah dibuat:

Tabel 5
Hasil pengujian rangkaian buck converter

No	Duty Cycle (%)	V _i (V)	I _i (A)	V _o (V)	I _o (A)	P _i (W)	P _o (W)	η (%)
1	38	30	0,2	10,4	0,5	6	5,18	86,33
2	38	30	0,4	9,8	1	11,7	9,8	83,76
3	38	30	0,6	9,45	1,5	17,7	14,16	80,08
4	38	30	0,8	9,25	2	23,1	18,5	80,08
5	38	30	0,9	9	2,5	28,8	22,5	78,13
6	38	30	1,1	8,8	3	34,2	26,4	77,19
7	38	30	1,3	8,6	3,5	39,6	30,8	77,78
8	38	30	1,5	8,4	4	50,7	33,6	66,27
9	38	30	1,7	7,6	4,5	50,7	34,2	67,45
10	38	30	1,9	7,34	5	56,1	36,7	56,41

Tabel 6
Hasil pengujian rangkaian boost converter

No	Duty Cycle (%)	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	η (%)
1	58	10	1,23	19,81	0,5	12,3	9,91	80,57
2	58	10	1,81	19,05	0,75	18,1	14,29	78,95
3	58	10	2,36	18,37	1	23,6	18,37	77,83
4	58	10	2,94	17,64	1,25	29,4	22,05	75
5	58	10	3,48	16,84	1,5	34,8	25,26	72,59
6	58	10	4,07	16	1,75	40,7	28	68,79
7	58	10	4,61	15,17	2	46,1	30,34	65,81

VI. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Pada rangkaian buck converter didapatkan hasil pengujian dengan efisiensi maksimum 80,57% yaitu pada saat kondisi pembebanan minimum 0,5 A.
- Pada rangkaian boost converter diperoleh hasil pengujian dengan efisiensi maksimum 86,33% pada saat kondisi beban minimum 0,5 A.
- Dari data yang didapat, dapat dilihat bahwa penggunaan PI controller dapat mengendalikan keluaran dari rangkaian buck dan boost agar lebih stabil, sekalipun dengan kondisi tegangan masukan yang tidak seimbang.
- PI controler juga dapat digunakan untuk mengendalikan kestabilan keluaran dari rangkaian yang disebabkan oleh pembebanan yang berubah-ubah pada saat rangkaian bekerja.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lander, Cyril W, "Power Electronics" third edition. London, McGRAW HILL International Edition, 1993.
- [2] Taufik¹, M. Starman¹, M. Anwari², "Digitally Controlled Synchronous Buck Converter", ¹Cal Poly State University, San Luis Obispo, CA 93407, USA, ²Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia.
- [3] Suryadi, Arief S dan Teguh Praludi, "Studi Efisiensi Non-isolated DC-DC Converter", Peneliti pada Puslit Elektronika & Telekomunikasi LIPI, Bandung, 2008.