

Pembuatan Inverter Satu Fasa 100 Watt Menggunakan Konverter Buck

Yeremia Adena; Hanny Hosiana Tumbelaka; Handry Khoswanto

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra

Jalan Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia

E-Mail: jerrz95@gmail.com ; tumbuh@petra.ac.id ; handry@petra.ac.id

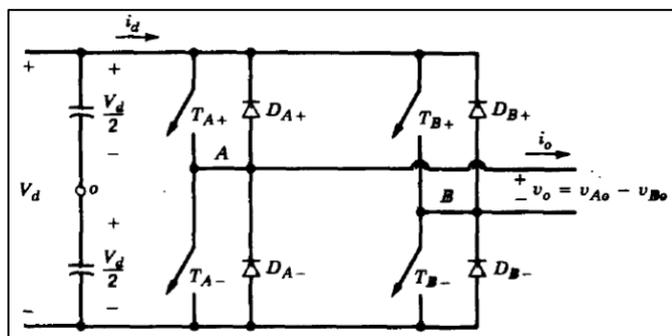
Abstrak – Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang konverter dc – ac (inverter) satu fasa 100 watt yang menghasilkan bentuk gelombang *output* ac sinusoidal. Inverter ini menggunakan konverter buck yang didukung oleh inverter dorong-tarik dan dikontrol menggunakan modulasi lebar pulsa (*Pulse Width Modulation*). Penguat operasional (*op-amp*) memiliki kemampuan untuk menghasilkan gelombang PWM. Inverter yang telah dirancang mampu menghasilkan gelombang sinusoidal dengan tegangan ac 211 volt tanpa menggunakan beban.

Kata Kunci - Inverter satu fasa, gelombang sinus, konverter buck, inverter dorong-tarik, *op-amp*, PWM

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik sangat diperlukan untuk kehidupan sehari – hari, misalnya untuk lampu, TV, komputer, kipas angin ataupun peralatan pertukangan seperti bor, gerinda, dan lain – lain. Peralatan listrik biasanya disuplai dari jaringan listrik ac 220 V. Selain itu, peralatan listrik bisa juga disuplai dari energi alternatif seperti sel surya, dan lain – lain. Namun penggunaan energi alternatif ini butuh konverter dc – ac (inverter), karena gelombang tegangan *output* yang dihasilkan oleh energi alternatif tersebut berbentuk dc.

Inverter yang digunakan pada umumnya adalah berbentuk *full-bridge inverter* yang terdiri dari dua kaki dengan dua saklar pada masing – masing kaki, sehingga jumlah saklar yang digunakan sebanyak 4 buah. Rangkaian *full-bridge inverter* dapat dilihat pada gambar 1. Empat buah saklar ini dikendalikan oleh sinyal Modulasi Lebar Pulsa (*Pulse Width Modulation*) frekuensi tinggi dengan mode bipolar atau unipolar [1].



Gambar 1. Rangkaian *Full-Bridge Inverter* [1]

Dalam penelitian ini akan dicoba dibuat sebuah inverter yang berbeda. Inverter ini disusun dari rangkaian konverter dc – dc buck. Konverter dc – dc buck hanya membutuhkan satu transistor dan dua buah transistor inverter untuk mode dorong-

tarik (*push-pull*). Keuntungan dari inverter ini dibandingkan dengan inverter pada umumnya (*full-bridge inverter*) adalah jumlah saklar lebih sedikit dan pengendaliannya lebih mudah. Diharapkan inverter ini dapat menjadi alternatif inverter dc – ac untuk berbagai kebutuhan, seperti contoh untuk konverter energi terbarukan (*renewable energy*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Konverter DC – AC .

Konverter dc – ac dikenal dengan istilah *inverter*. Inverter banyak digunakan dalam aplikasi industri (contoh: kontrol kecepatan motor ac, energi terbarukan, transportasi, pemanas induksi, catu daya, dan *uninterruptible power supply*). Fungsi dari inverter adalah untuk mengubah tegangan *input* dc menjadi tegangan *output* ac dengan besaran dan frekuensi yang diinginkan. Bentuk gelombang tegangan *output* pada inverter ideal adalah sinusoidal. Tetapi secara praktek, bentuk gelombang inverter tidak sinusoidal dan mengandung harmonisa tertentu. Inverter dapat dibedakan menjadi dua tipe: (1) inverter satu fasa dan (2) inverter tiga fasa. Secara umum inverter menggunakan sinyal kontrol modulasi lebar pulsa (*Pulse Width Modulation*) untuk menghasilkan tegangan *output* ac. Inverter disebut *voltage-fed inverter* (VFI) jika tegangan *input* tetap konstan, dan *current-fed inverter* (CFI) jika arus *input* tetap konstan [2].

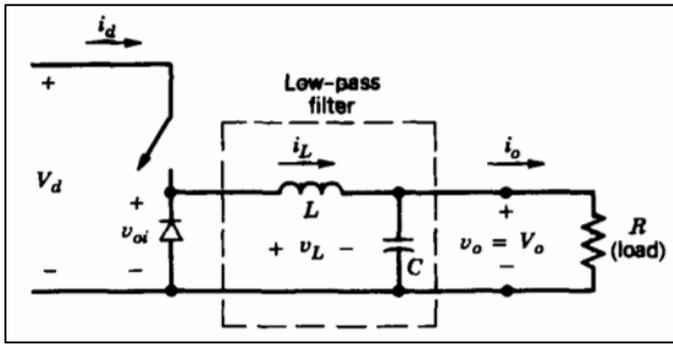
B. Konverter Buck [1]

Konverter buck merupakan konverter *step-down* dc – dc yang menghasilkan tegangan *output* yang lebih rendah dari tegangan *input*. Konverter buck biasa digunakan pada catu daya teregulasi dan kontrol kecepatan motor dc. Secara konsep, rangkaian dasar dari gambar 2 merupakan konverter *step-down* untuk beban resistif murni. Rangkaian ini terdiri dari komponen elektronika daya (transistor sebagai saklar dan dioda), filter L dan C, serta beban R.

Dalam rangkaian ini, komponen transistor (saklar) dan dioda bersifat *complementary*. Artinya bila T1 *on*, maka D1 *off*; demikian pula T1 *off*, maka D1 *on*. Keduanya tidak akan *on* atau *off* bersama-sama. Kondisi *on* dan *off* transistor dikontrol oleh rangkaian pensaklaran (*switching*). Bila rangkaian kontrol menghasilkan pulsa logika 1 (atau 0), maka transistor akan *on* (atau *off*).

Cara kerja rangkaian *buck converter* dapat dilihat pada gambar 3, dimana (a) pada saat transistor *on* dan (b) pada saat transistor *off*. V_d adalah V_{DC} atau V_{input} . Selama t_{on} , komponen L menyerap energi. Selama t_{off} , komponen L melepaskan energi ke beban. Dengan mengubah *duty ratio* (D) dari saklar, tegangan *output* V_o dapat dikontrol.

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_s} = D \quad (1)$$

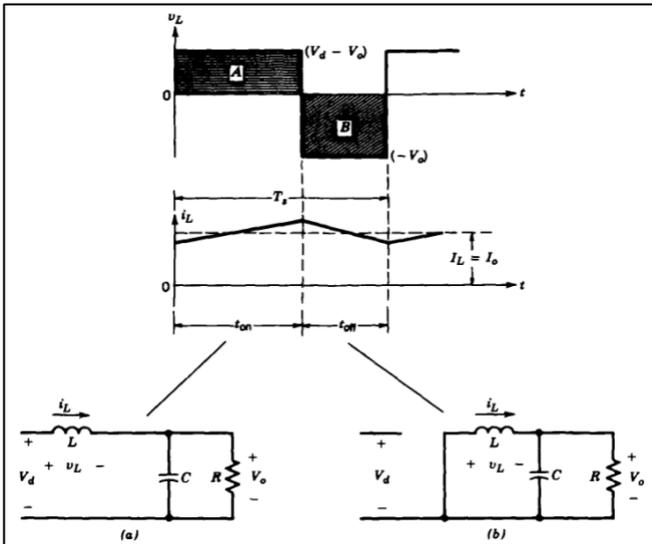


Gambar 2. Rangkaian Konverter Buck [1]

Gambar 3 juga menunjukkan *ripple* (peak-to-peak) arus induktor yang dihitung selama t_{off} :

$$\Delta I_L = (V_o / L) t_{off} \quad (2)$$

dimana $t_{off} = (1 - D) T_s$ (3)



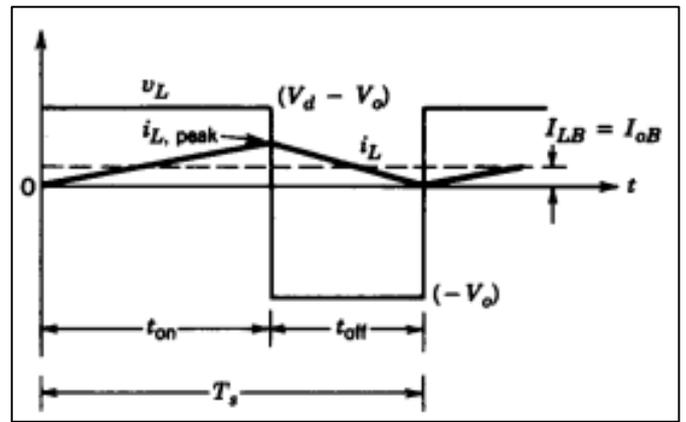
Gambar 3. Pensaklaran Konverter Buck [1]

Rangkaian gambar 3 menunjukkan bahwa selalu ada arus yang melewati L ($I_L > 0$). Kondisi ini disebut *continuous conduction*. Bila terjadi $I_L = 0$ sebelum t_{off} berakhir, maka kondisi ini disebut *discontinuous conduction*. Batas antara *continuous* dan *discontinuous conduction* adalah bila $I_L = 0$ terjadi pada akhir t_{off} atau tepat pada akhir periode waktu pulsa T_{sw} (I_L hanya menyentuh sumbu t satu kali di akhir t_{off}). Gambar 4 menunjukkan arus yang melewati L berada dalam kondisi batas tersebut. Pada kondisi ini harga rata-rata arus induktor sama dengan setengah arus puncaknya, sehingga

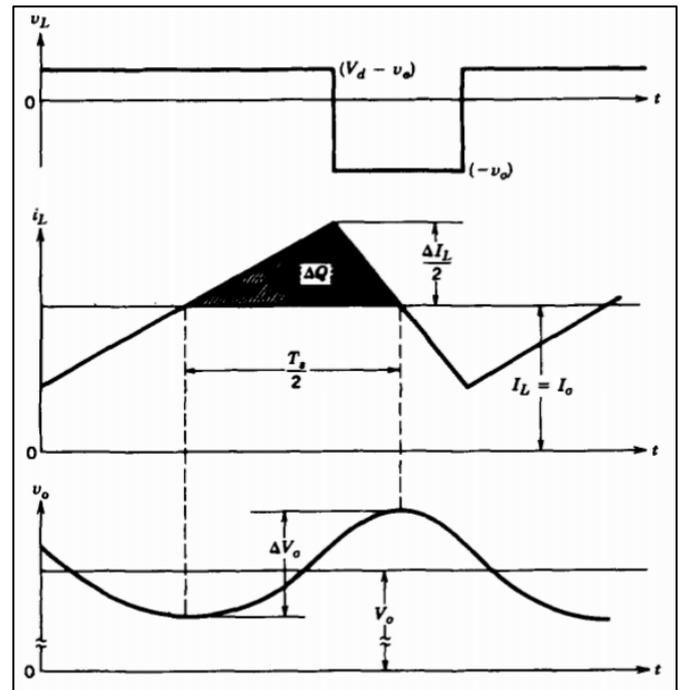
$$I_{L(batas)} = (t_{on} / 2L) (V_d - V_o) \quad (4)$$

Besarnya harga kapasitor C pada sisi *output* mempengaruhi besarnya *ripple* pada tegangan output. Dengan asumsi bahwa komponen *ripple* arus induktor mengalir ke kapasitor dan komponen DC (harga rata-rata) mengalir ke beban R, maka *ripple* (peak-to-peak) tegangan output (gambar 5) dapat ditulis:

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \frac{1}{2} \frac{\Delta I_L T_s}{2} \quad (5)$$



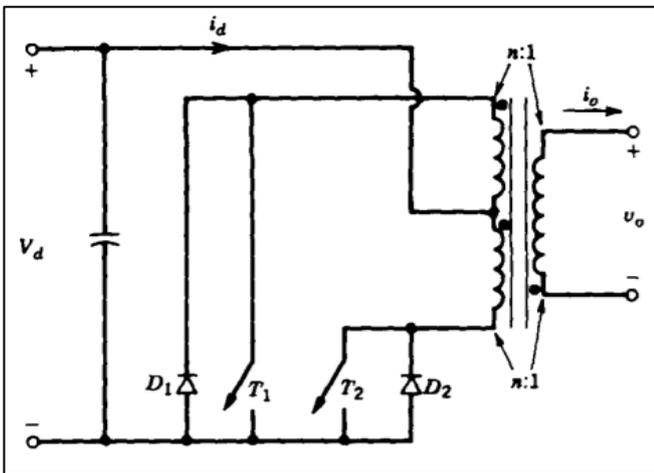
Gambar 4. Arus pada Batas *Continuous-Discontinuous Conduction* Konverter Buck [1]



Gambar 5. *Ripple* Tegangan Output [1]

C. Inverter Dorong-Tarik [1]

Gambar 6 menunjukkan rangkaian inverter dorong-tarik (*Push-Pull Inverter*). Inverter dorong-tarik membutuhkan transformer dengan *center tap* pada sisi primer dan dapat dioperasikan menggunakan PWM atau bentuk gelombang lainnya yang identik. Keuntungan utama dari inverter dorong-tarik adalah bahwasanya tidak lebih dari satu saklar dalam rangkaian seri yang bekerja pada waktu apapun. Hal ini dapat menjadi penting jika *input* dc ke konverter berasal dari sumber tegangan rendah, seperti baterai, dimana tegangan jatuh melalui lebih dari satu saklar dalam rangkaian seri akan menghasilkan penurunan efisiensi energi yang signifikan. Kontrol *drive* untuk dua saklar juga memiliki *ground* yang sama



Gambar 6. Rangkaian Inverter Dorong-Tarik [1]

III. RANGKAIAN INVERTER

Rangkaian utama inverter satu fasa terdiri dari gabungan rangkaian konverter buck dan inverter dorong-tarik. Konverter buck berfungsi untuk menghasilkan *output* berupa gelombang dc setengah gelombang sinusoidal. Sedangkan inverter dorong-tarik berfungsi untuk mengkonversi gelombang dc setengah gelombang sinusoidal menjadi gelombang ac sinusoidal. Rangkaian utama inverter satu fasa dapat dilihat pada gambar 7.

Sebelum menentukan besarnya nilai komponen *low-pass filter*, yang terdiri dari induktor dan kapasitor pada konverter buck, maka perlu ditetapkan terlebih dahulu parameter – parameter konverter buck, seperti yang tertulis pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Rangkaian Konverter Buck

Parameter	Nilai
Tegangan <i>input</i> (V_d)	DC 36V
Arus <i>output</i> min ($I_{o\ min}$)	0,6A
Arus <i>output</i> max ($I_{o\ max}$)	6,51A
Frekuensi pensaklaran (f_s)	5.000Hz
<i>Ripple peak-to-peak</i> arus induktor maksimum (ΔI_L)	4,28A
<i>Ripple</i> tegangan <i>output</i> maksimum (ΔV_o)	1,6V

Penentuan L:

$$\Delta I_L = \frac{D \times V_d}{L} \times \frac{1}{f_s} (1 - D)$$

$$4,28 = \frac{0,5 \times 36}{L} \times \frac{1}{5000} \times (1 - 0,5)$$

$$4,28 = \frac{9}{5000L}$$

$$5000L = \frac{9}{4,28} = 2,1$$

$$L = \frac{2,1}{5000} = 0,42\text{mH}$$

Penentuan C:

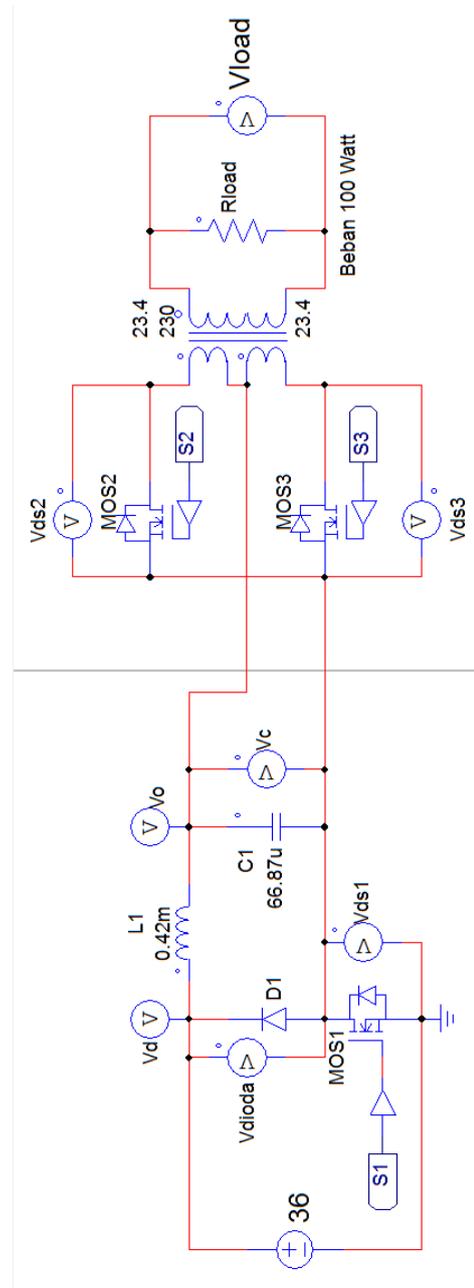
$$\Delta V_o = \frac{1}{C} \times \frac{\Delta I_L}{2} \times \frac{T_s}{2}$$

$$1,6 = \frac{1}{C} \times \frac{1}{2} \times \frac{4,28}{2} \times \frac{1}{5000}$$

$$1,6 = \frac{8,56 \times 10^{-4}}{8C}$$

$$8C = \frac{8,56 \times 10^{-4}}{1,6} = 5,35 \times 10^{-4}$$

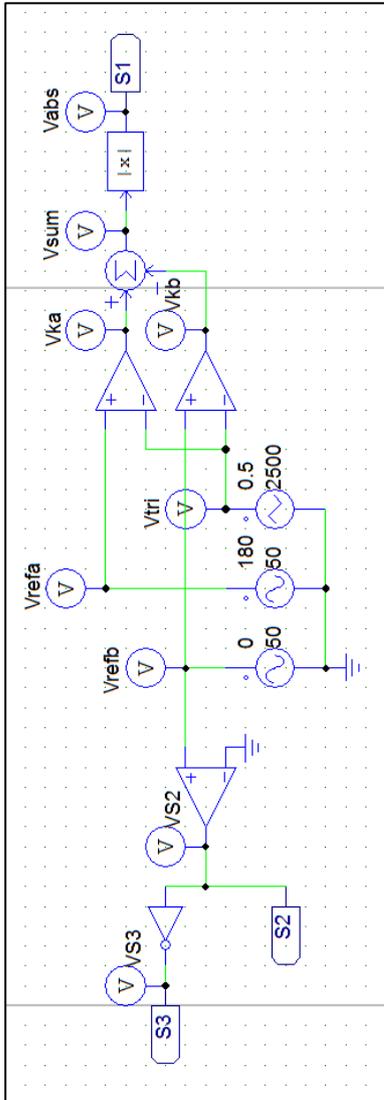
$$C = \frac{5,35 \times 10^{-4}}{8} = 66,87\mu\text{F}$$



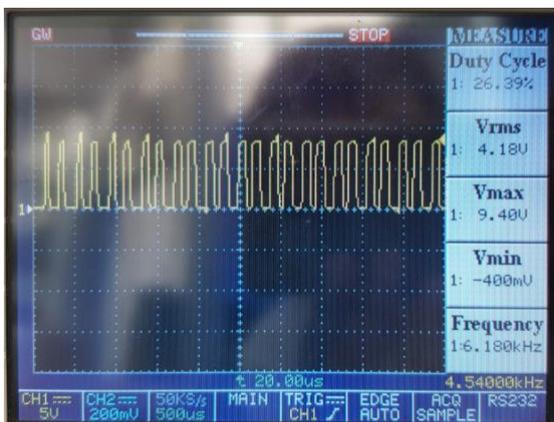
Gambar 7. Rangkaian Utama Inverter Satu Fasa

Gambar 8 menunjukkan rangkaian kontrol inverter satu fasa. Rangkaian kontrol inverter satu fasa terdiri dari *function generator* untuk pembentukan gelombang referensi sinus dengan frekuensi fundamental 50Hz dan gelombang segitiga

dengan frekuensi pensaklaran 2,5kHz dan *duty cycle* sebesar 50%, serta penguat operasional (*op-amp*) untuk pembentukan gelombang modulasi lebar pulsa (PWM), seperti yang terlihat pada gambar 9. Pada penelitian ini, mode pensaklaran PWM yang digunakan adalah mode unipolar, dimana frekuensi pensaklaran PWM yang bekerja pada MOSFET konverter buck akan digandakan.



Gambar 8. Rangkaian Kontrol Inverter Satu Fasa



Gambar 9. Output Gelombang PWM

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Hasil Pengujian Inverter

Parameter	Tanpa Beban	Beban 5 Watt	Beban 60 Watt	Beban 100 Watt
Tegangan RMS	211 V	133 V	90,8 V	58,4 V
THD	20,7%	20,6%	15,4%	18,0%
Arus RMS	0,02 A	0,05 A	0,08 A	0,13 A
Daya output	0 W	6 W	6 W	7 W
Faktor Daya	0,44	0,99	1	1

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian inverter secara keseluruhan. Semua pengujian inverter menggunakan beban resistif. Inverter yang telah dirancang mampu menghasilkan tegangan sebesar 211 volt saat kondisi tanpa beban. Terdapat penurunan tegangan pada saat inverter diberi beban. THD (*Total Harmonics Distortion*) mengalami penurunan saat berbeban 5 watt dan 60 watt, dan mengalami peningkatan kembali saat berbeban 100 watt. Arus inverter meningkat saat terjadi peningkatan beban nominal. Akan tetapi terdapat arus inverter pada saat kondisi tanpa beban yang disebabkan oleh rugi – rugi arus transformer. Tidak ada daya *output* yang dihasilkan saat kondisi tanpa beban, namun terdapat daya *output* ketika inverter dalam kondisi berbeban. Faktor daya yang dihasilkan saat kondisi tanpa beban sangat rendah karena dipengaruhi oleh impedansi transformer. Sedangkan pada saat kondisi berbeban memiliki faktor daya rata – rata sebesar 1, karena dibebani oleh beban resistif.



Gambar 10. Output Inverter Satu Fasa

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

- Konverter dc – dc buck yang didukung oleh inverter dorong-tarik dapat dijadikan inverter satu fasa.
- Gelombang modulasi lebar pulsa (PWM) dapat mengontrol pensaklaran MOSFET pada inverter satu fasa.
- Inverter satu fasa yang telah dirancang mampu menghasilkan gelombang sinusoidal dengan tegangan ac 211 volt pada saat kondisi tanpa beban.
- Terdapat penurunan tegangan sebesar 133 volt pada saat inverter diberi beban 5 watt, 90,8 volt saat berbeban 60 watt, dan 58,4 volt saat berbeban 100 watt. Hal ini terjadi karena daya yang digunakan tidak mampu menyalurkan arus yang dibutuhkan.

REFERENSI

- [1] Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (2003). *Power electronics: Converters, applications, and design (3rd ed.)*. John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Rashid, M. H. (2014). *Power electronics: Devices, circuits, and applications (4th ed.)*. Pearson Education.