

Pengendalian Tegangan Keluaran *DC-DC Boost Converter* Tipe *Voltage Doubler* Menggunakan Mikrokontroler STM32F1038CT

Kevin Candra¹ dan Leonardus Heru Pratomo²

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Katolik Soegijapranata
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Benda Duwur, Semarang, 50234, Indonesia
kevincandra1002@gmail.com¹, leonardus@unika.ac.id²

Abstract— *Five-level inverter is widely used in many industrial applications, for example as a three-phase electric motor drive, PLTS, etc. This inverter works using two separated DC voltage sources in order to form different voltage level. Five-level inverter using one DC voltage source will be more efficient. A DC-DC boost converter on Voltage Doubler type is used in order to solve the problem. The focus of this research is on controlling the DC-DC boost converter on Voltage Doubler type. The switch control method uses a shifted pulse width modulation of 180°. To get a suitable output voltage, an output voltage control system is applied. A proportional and integral type control is implemented using STM32F1038CT microcontroller. The output voltage controlled DC-DC boost converter is validated through computational simulation with Power Simulator software and as the final step will be implemented on hardware in the laboratory. Based on the simulation and implementation, Voltage-Doubler type of DC-DC boost converter is able to produce the required output voltage, which is two times greater than the conventional DC-DC boost converter output voltage.*

Keywords— *five-level inverter, DC-DC boost converter, Voltage Doubler, STM32F1038CT*

Abstrak— *Inverter lima level banyak digunakan untuk aplikasi industri, misalnya sebagai penggerak motor listrik tiga fasa, PLTS, dan lain-lain. Inverter ini bekerja menggunakan dua sumber DC terpisah guna membentuk besaran level tegangan yang berbeda. Inverter lima level dengan menggunakan satu buah sumber DC akan jauh lebih efisien. Suatu DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler digunakan untuk mengatasi masalah tersebut. Fokus penelitian ini adalah pada pengendalian DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler. Metode kendali saklar menggunakan modulasi lebar pulsa yang tergeser sebesar 180°. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang sesuai, diterapkan sistem pengendali tegangan keluaran. Kendali tipe proporsional ditambah integral diimplementasikan menggunakan mikrokontroler jenis STM32F1038CT. DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler terkendali tegangan keluaran divalidasi melalui simulasi komputasi dengan perangkat lunak Power Simulator dan sebagai tahap akhir akan dilakukan implementasi pada perangkat keras di laboratorium. Berdasarkan simulasi dan implementasi, DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler mampu menghasilkan tegangan keluaran sesuai dengan yang diinginkan, yaitu dua kali lebih besar dari tegangan keluaran DC-DC boost converter konvensional.*

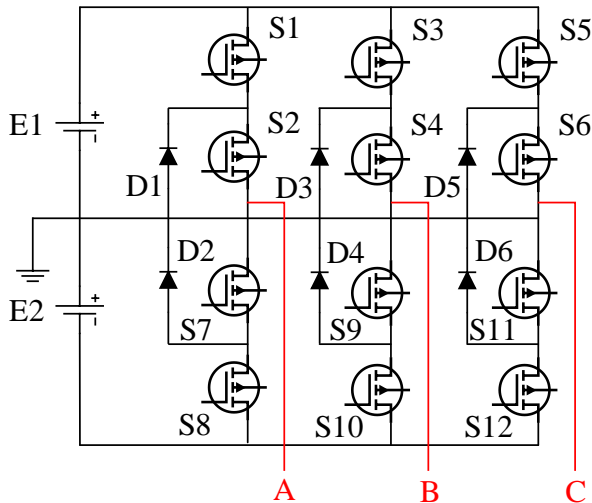
Kata kunci— *inverter lima level, DC-DC boost converter, Voltage Doubler, STM32F1038CT*

I. PENDAHULUAN

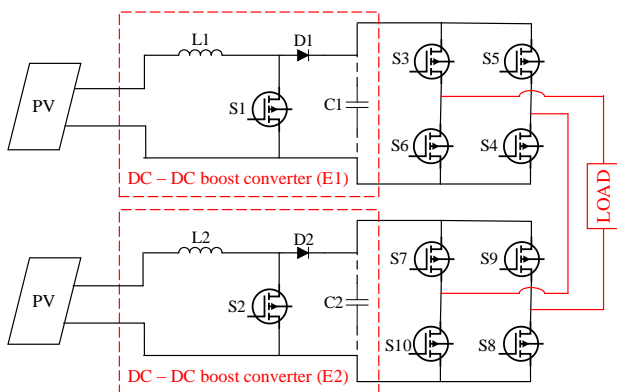
Dunia industri merupakan salah satu sektor penunjang perekonomian di Indonesia. Perkembangan industri dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan penggunaan *multilevel inverter* yang semakin meluas pada aplikasi *Variable Speed Drive* (SPD), PLTS baik *off-grid* dan *on-grid*, dan lain-lain [1] - [3]. Kenyataan yang terjadi, pemanfaatan *multilevel inverter* yang sering diminati dalam bentuk *inverter lima level* dan terbukti mampu menghasilkan tingkat kecacatan arus dan tegangan yang rendah [4] - [6]. Beberapa topologi yang sering digunakan pada *inverter lima level* adalah *Diode Clamped*, *Flying Capacitor*, *H-Bridge Cascade*, dan kombinasi beberapa konverter [7], [8].

Inverter lima level pada aplikasi SPD lazimnya menggunakan dua sumber DC terpisah, hal ini menyebabkan *inverter lima level* memiliki konfigurasi rangkaian yang lebih kompleks dari *inverter* pada umumnya [9], [10]. *Inverter lima level* untuk aplikasi PLTS baik *off-grid* dan *on-grid* lazimnya menggunakan dua buah *DC-DC boost converter* konvensional [11] - [13] sehingga akan menyebabkan kompleksitas rangkaian yang lebih tinggi. Solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan rangkaian *DC-DC Boost converter* tipe *Voltage Doubler*. Kontribusi yang dapat diberikan berupa kesederhanaan rangkaian yang menggunakan satu sumber tegangan DC yang dilengkapi dengan sebuah *DC-DC converter* dan dapat dikendalikan tegangan keluaran untuk menggantikan dua buah *DC-DC boost converter* konvensional atau dua buah sumber DC.

Topologi rangkaian aplikasi *inverter* lima level yang menggunakan dua buah sumber DC pada SPD dapat dilihat pada Gambar 1 dan topologi rangkaian aplikasi *inverter* lima level pada PLTS yang menggunakan dua buah rangkaian DC-DC *boost converter* konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Aplikasi *inverter* lima level pada SPD



Gambar 2. Aplikasi *inverter* lima level pada PLTS

Pada prinsipnya *DC-DC Boost converter* tipe *Voltage Doubler* merupakan integrasi dari dua buah *DC-DC boost converter* konvensional yang memiliki tegangan keluaran jauh lebih tinggi dari tegangan masukan dengan menggunakan kendali sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) [14]. *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* memiliki tegangan keluaran dua kali lebih besar dari tegangan keluaran *DC-DC boost converter* konvensional. Topologi rangkaian *DC-DC boost converter* yang disisipkan pada modifikasi *full-wave Voltage Doubler* memiliki keunggulan yaitu dapat diaplikasikan pada tegangan tinggi jika dibandingkan dengan *Voltage Doubler* konvensional [1]. Topologi tersebut menggunakan aplikasi penyearah modulasi lebar pulsa sinusoidal dengan unjuk kerja tinggi (arus dan tegangan satu fasa). Namun topologi ini memiliki pengendalian yang cukup rumit.

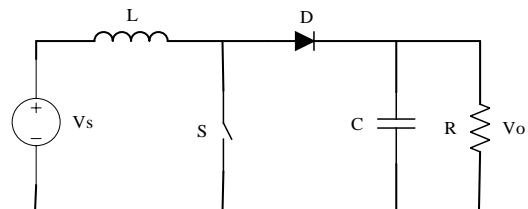
Rangkaian *Voltage Doubler* tipe *rectenna* mampu diaplikasikan pada tegangan tinggi walaupun tanpa fitur *charge pump capacitor* yang umumnya digunakan pada

Voltage Doubler konvensional [15]. Namun rangkaian tersebut sangat bergantung pada beban keluaran. Sedangkan rangkaian *Voltage Doubler SEPIC PFC Rectifier* juga mampu diaplikasikan pada tegangan tinggi dan mudah dikendalikan, namun memiliki konfigurasi rangkaian yang cukup rumit [16]. Pada penelitian ini, digunakan topologi *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* dengan rangkaian yang sederhana dan mudah dikendalikan.

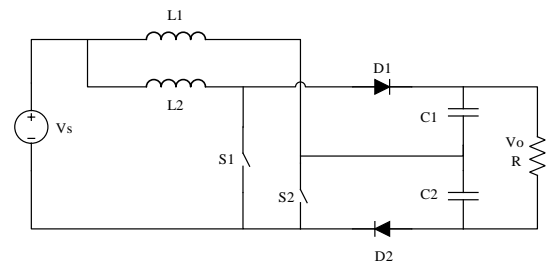
Tujuan dari penelitian ini adalah menawarkan solusi untuk mengatasi dua buah sumber DC terpisah pada *inverter* lima level dengan menggunakan satu buah sumber DC yang dilengkapi dengan rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* teregulasi tegangan keluaran dengan metode kendali tipe proporsional ditambah integral (PI) yang diimplementasikan dengan menggunakan mikrokontroler STM32F1038CT. Dengan adanya penelitian ini rangkaian akan lebih sederhana, mudah dikendalikan, serta biaya yang murah. Sebagai tahap awal dilakukan analisis *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* di bagian II. Simulasi, implementasi, serta pembahasan dilakukan di bagian III.

II. METODE

Rangkaian *DC-DC boost converter* konvensional dapat dilihat pada Gambar 3, terdiri dari satu buah sumber tegangan (V_s), satu buah induktor (L), satu buah saklar aktif (S), satu buah dioda (D), satu buah kapasitor (C), dan satu buah beban resistor (R). *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* secara prinsip merupakan gabungan dari dua buah *DC-DC boost converter* konvensional seperti pada Gambar 4, terdiri dari satu buah sumber tegangan (V_s), dua buah induktor ($L1$ dan $L2$), dua buah saklar aktif ($S1$ dan $S2$), dua buah dioda ($D1$ dan $D2$), dua buah kapasitor ($C1$ dan $C2$), dan satu buah beban resistor (R).



Gambar 3. Topologi rangkaian *DC-DC boost converter* konvensional



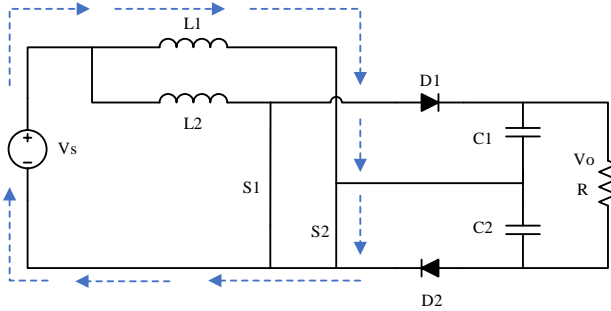
Gambar 4. Topologi rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler*

Topologi rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* ini terbagi menjadi 4 mode operasi. Mode operasi ini dinamakan mode operasi 1 - 4. Pada mode operasi 1, kedua saklar terkonduksi, sehingga arus mengalir dari sumber DC menuju induktor $L1$ dan $L2$, lalu kembali ke sumber tegangan

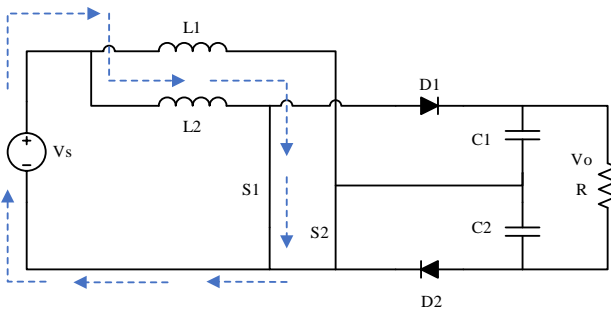
(Vs). Mode operasi 1 saat saklar S2 konduksi dapat dilihat pada Gambar 5. Mode operasi 1 saat saklar S1 konduksi dapat dilihat pada Gambar 6. Tegangan pada induktor V_{L1} dan V_{L2} dapat dinyatakan dengan:

$$V_{L1} = L \frac{di_{L1}}{dt} = V_s \quad (1)$$

$$V_{L2} = L \frac{di_{L2}}{dt} = V_s \quad (2)$$



Gambar 5. Mode operasi 1 saat saklar S2 konduksi



Gambar 6. Mode operasi 1 saat saklar S1 konduksi

Pada mode operasi 2, saklar S2 saja yang terkonduksi, sehingga arus menuju induktor L1 lalu berputar kembali ke sumber tegangan (Vs). Saklar S1 tidak terkonduksi sehingga menyebabkan arus mengalir dari sumber tegangan (Vs) ke induktor L2, kemudian melewati dioda D1, dan menuju ke beban, lalu kembali ke sumber tegangan (Vs) melalui D2. Mode operasi 2 saat saklar S2 terkonduksi dapat dilihat pada Gambar 7. Mode operasi 2 saat saklar S1 tidak terkonduksi dapat dilihat pada Gambar 8. Tegangan pada induktor V_{L1} dan V_{L2} dapat dinyatakan dengan:

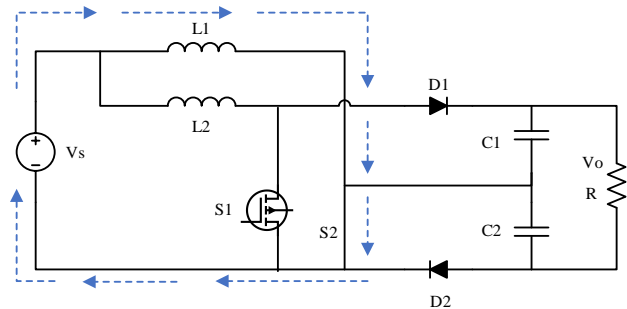
$$V_{L1} = L \frac{di_{L1}}{dt} = V_s \quad (3)$$

$$V_{L2} = L \frac{di_{L2}}{dt} = V_s - V_{C1} \quad (4)$$

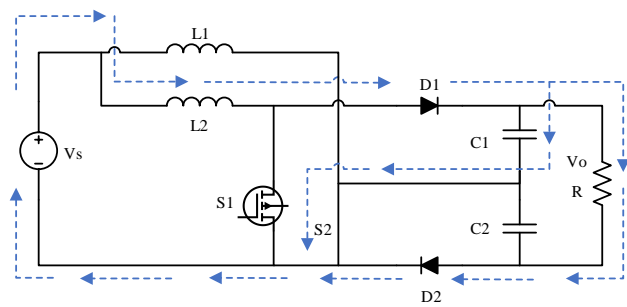
Mode operasi 3 merupakan kebalikan dari mode operasi 2, dimana saklar S1 terkonduksi dan saklar S2 tidak terkonduksi. Saat saklar S1 terkonduksi, arus berputar melalui induktor L2 lalu kembali ke sumber tegangan (Vs). Saat saklar S2 tidak terkonduksi, arus mengalir dari sumber tegangan (Vs) ke induktor L1, dan menuju ke beban, lalu kembali lagi ke sumber tegangan (Vs) melalui dioda D2. Mode operasi 3 saat saklar S2 tidak terkonduksi dapat dilihat pada Gambar 9. Mode operasi 3 saat saklar S1 terkonduksi dapat dilihat pada Gambar 10. Tegangan pada induktor V_{L1} dan V_{L2} dapat dinyatakan dengan (5) dan (6).

$$V_{L1} = L \frac{di_{L1}}{dt} = V_s - V_{C2} \quad (5)$$

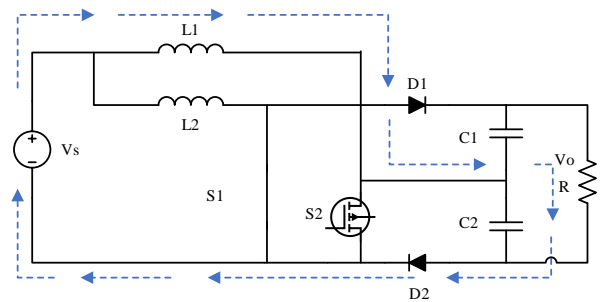
$$V_{L2} = L \frac{di_{L2}}{dt} = V_s \quad (6)$$



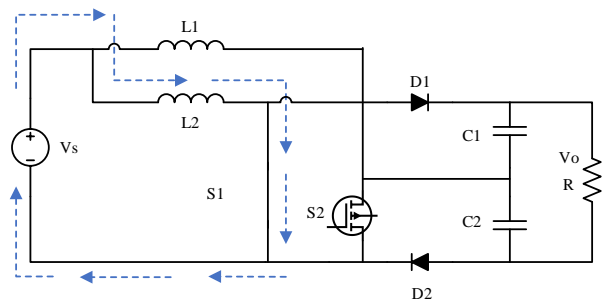
Gambar 7. Mode operasi 2 saat saklar S2 konduksi



Gambar 8. Mode operasi 2 saat saklar S1 tidak konduksi



Gambar 9. Mode operasi 3 saat saklar S2 tidak konduksi



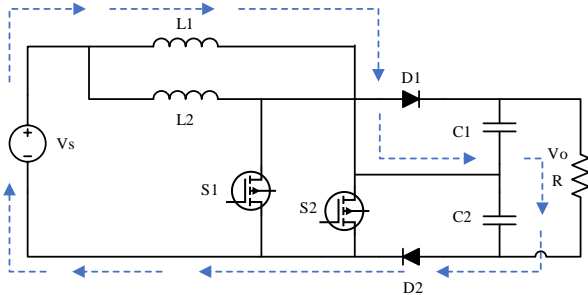
Gambar 10. Mode operasi 3 saat saklar S1 konduksi

Pada mode operasi 4, kedua saklar tidak terkonduksi. Hal ini menyebabkan arus mengalir dari sumber tegangan (Vs) menuju induktor L1, menuju ke beban, dan kembali ke sumber tegangan (Vs) melalui dioda D2. Arus juga mengalir dari sumber tegangan (Vs) ke induktor L2, kemudian melewati dioda D1, menuju ke beban, lalu kembali ke sumber

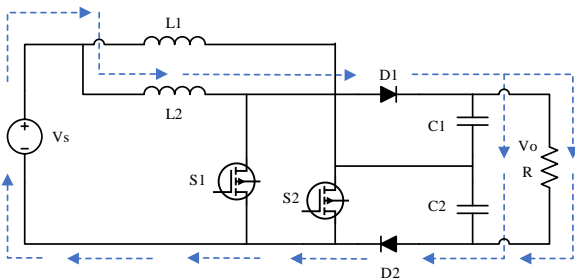
tegangan (V_s) melalui D2. Mode operasi 4 saat saklar S2 tidak terkonduksi dapat dilihat pada Gambar 11. Mode operasi 4 saat saklar S1 tidak terkonduksi dapat dilihat pada Gambar 12. Tegangan pada induktor V_{L1} dan V_{L2} dapat dinyatakan dengan:

$$V_{L1} = L \frac{di_{L1}}{dt} = V_s - V_{C2} \quad (7)$$

$$V_{L2} = L \frac{di_{L2}}{dt} = V_s - V_{C1} \quad (8)$$



Gambar 11. Mode operasi 4 saat saklar S2 tidak konduksi



Gambar 12. Mode operasi 4 saat saklar S1 tidak konduksi

Tegangan keluaran V_o dapat dinyatakan dengan:

$$V_o = V_{C1} + V_{C2} \quad (9)$$

Sedangkan tegangan pada kapasitor V_{C1} dan V_{C2} dapat dinyatakan dengan:

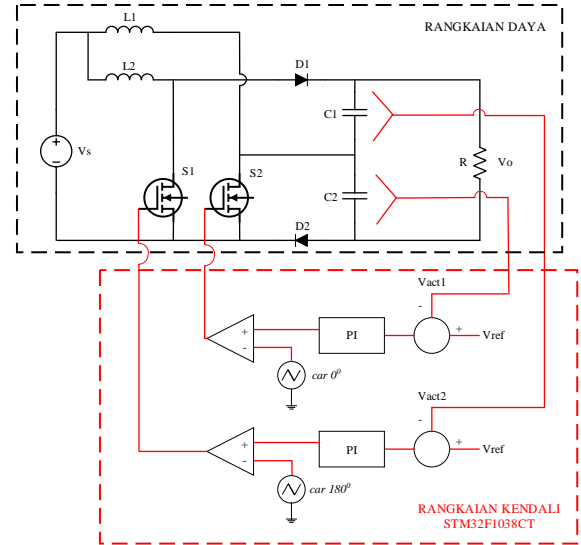
$$V_{C1} = \frac{1-D_{S2}}{2-D_{S1}-D_{S2}} V_o \quad (10)$$

$$V_{C2} = \frac{1-D_{S1}}{2-D_{S1}-D_{S2}} V_o \quad (11)$$

D_{S1} dan D_{S2} adalah *duty cycle* yang digunakan pada *gate* saklar S1 dan S2. Jadi, rasio perubahan tegangan M, dapat dinyatakan dengan:

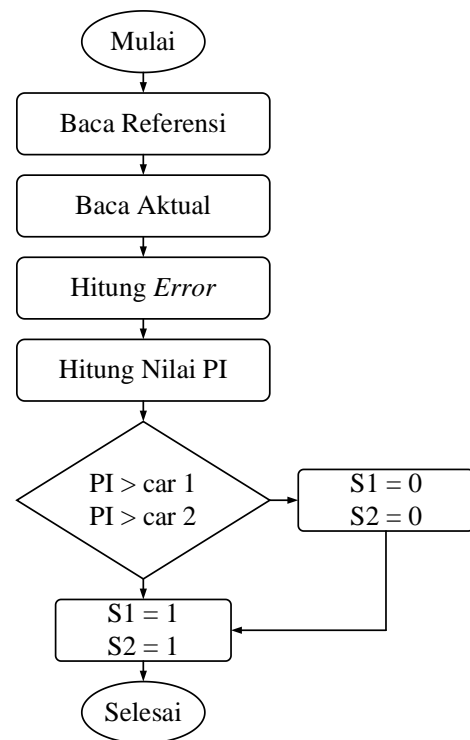
$$M = \frac{V_o}{V_s} \quad (12)$$

Untuk mengendalikan tegangan keluaran pada rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* ditambahkan rangkaian umpan balik. Pada rangkaian umpan balik, tegangan referensi dikurangi dengan tegangan pada kapasitor (tegangan aktual) sehingga menghasilkan *error*. *Error* kemudian dikalikan dengan hasil penjumlahan nilai proporsional dan integral. Hasil perkalian tersebut dikomparasi dengan sinyal pembawa sehingga menghasilkan sinyal modulasi lebar pulsa. Sinyal tersebut yang digunakan untuk mengendalikan saklar pada rangkaian daya. Blok diagram sistem kendali *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Blok diagram sistem kendali *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler*

Berdasarkan Gambar 13 dilakukan suatu pemrograman perangkat lunak dengan menggunakan Arduino IDE yang diimplementasikan pada mikrokontroler STM32F1038CT. STM32F1038CT merupakan mikrokontroler 32 bit dengan harga yang lebih murah dibandingkan dengan mikrokontroler lainnya. Diagram alir pemrograman *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* dapat dilihat pada Gambar 14. *Vref* adalah tegangan referensi. *Vact* adalah tegangan aktual, kendali yang digunakan yaitu tipe PI, dan sinyal pembawa (*car*) tergeser sebesar 180° .



Gambar 14. Diagram alir pemrograman *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler*

Langkah pertama adalah pembacaan referensi dan aktual oleh mikrokontroler, lalu penghitungan *error* dengan mengurangi tegangan referensi dan tegangan aktual. Setelah itu nilai *error* akan dikalikan dengan hasil perhitungan nilai PI. Nilai PI kemudian dikomparasi dengan sinyal pembawa (*car*) dimana *car2* merupakan sinyal pembawa yang tergeser sebesar 180° . Jika nilai PI lebih besar dari *car1* maka saklar S1 akan terkonduksi, dan jika nilai PI lebih besar dari *car2* maka saklar S2 akan terkonduksi. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, baik saklar S1 maupun S2 tidak terkonduksi. Implementasi dari diagram alir pada Gambar 14 adalah sebagai berikut:

```
HardwareTimer timer(1);
```

```
void setup() {
  pinMode(PA0,INPUT);  -> tegangan referensi
  pinMode(PA1,INPUT);  -> tegangan aktual 1
  pinMode(PA2,INPUT);  -> tegangan aktual 2
  pinMode(PB0,OUTPUT); -> sinyal PWM saklar S1
  pinMode(PB10,OUTPUT);-> sinyal PWM saklar S2
}
```

Inisialisasi port

```
Timer1.setMode(TIMER_CH1,TIMER_OUTPUT_COMPARE);
Timer1.pause();
Timer1.setCount(0);
Timer1.setPrescaleFactor(8);
Timer1.setOverflow(4095);
Timer1.setCompare(TIMER_CH1,4095);
Timer1.attachCompare1Interrupt(sampling);
Timer1.refresh();
Timer1.resume();
}
```

Inisialisasi sinyal carrier

```
float kp=0.75;  -> Nilai konstanta prporisional
float ki=0.005; -> Waktu sampling
double e,car,car1,act,er,a,b,pi,act1,er1,c,d,pi1,erl1,erl2,f,g;
```

```
void loop() {
  ->perhitungan nilai PI
  er=e-act;
  a=kp*er;
  b=ki*(er+erl1);
  pi=(a*b)+a;
  erl1=er;
  erl=e-act1;
  c=kp*er1;
  d=ki*(erl+erl2);
  pi1=(c*d)+c;
  erl2=er1;
}
```

Perhitungan nilai PI

```
car=map(Timer1.getCount(),0,4095,0,4095);
car1=map(Timer1.getCount(),0,4095,4095,0);
f=100;
g=100;
```

```
if(pi>=1800)
{
  pi=1800;
}
if(pi1>=1800)
{
  pi1=1800;
}
```

Batas sinyal carrier dan batas pensaklaran agar tidak overlapping

```
if(pi>car)
{
  if(car<f)
  {
    digitalWrite(PB0,LOW);
  }
  else
  {
    digitalWrite(PB0,HIGH);
  }
}
else
{
  digitalWrite(PB0,LOW);
}
if(pi1>car1)
{
  if(car1<g)
  {
    digitalWrite(PB10,LOW);
  }
  else
  {
    digitalWrite(PB10,HIGH);
  }
}
else
{
  digitalWrite(PB10,LOW);
}
}
```

Komparator nilai PI dengan sinyal carrier

```
void sampling(void) {
  e=analogRead(PA0);
  act=analogRead(PA1);
  act1=analogRead(PA2);
}
```

Pembacaan ADC

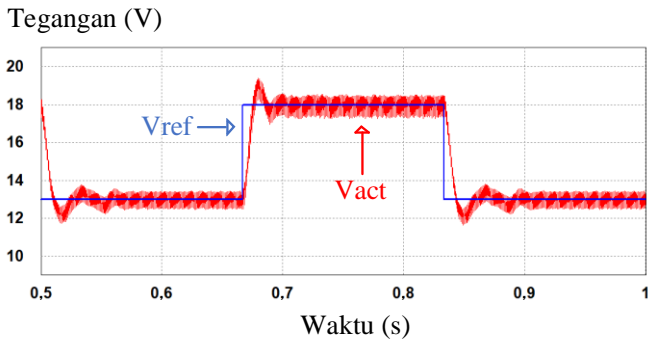
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan mode operasi yang telah diuraikan, dibuatlah suatu simulasi komputasi dengan bantuan perangkat lunak Power Simulator dan implementasi perangkat keras untuk memastikan bahwa konsep yang diteliti berjalan dengan baik menggunakan parameter seperti pada Tabel I. Simulasi komputasi ini menggunakan sinyal gelombang DC kotak sebagai tegangan referensinya.

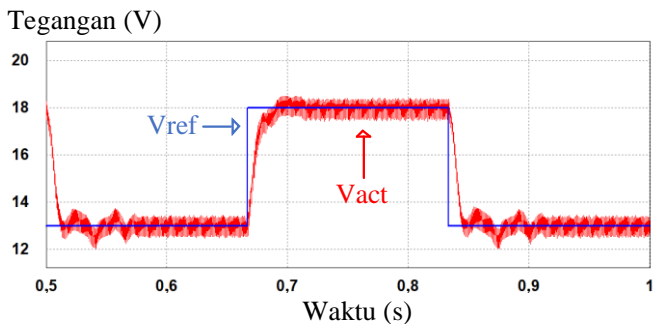
TABEL I. PARAMETER SIMULASI

Parameter	Nilai
Sumber DC	12 V
Induktor L1 & L2	2 mH
Beban Kapasitor	220 uF
Beban Resistor	100 Ohm

Tegangan keluaran pada kapasitor yang diukur dengan sensor disebut dengan tegangan aktual (*Vact*). Tegangan keluaran dinyatakan terkendali jika tegangan aktual mengikuti bentuk gelombang tegangan referensi (*Vref*). Hasil perbandingan tegangan aktual 1 dan tegangan referensi dapat dilihat pada Gambar 15, serta hasil perbandingan tegangan aktual 2 dan tegangan referensi dapat dilihat pada Gambar 16.

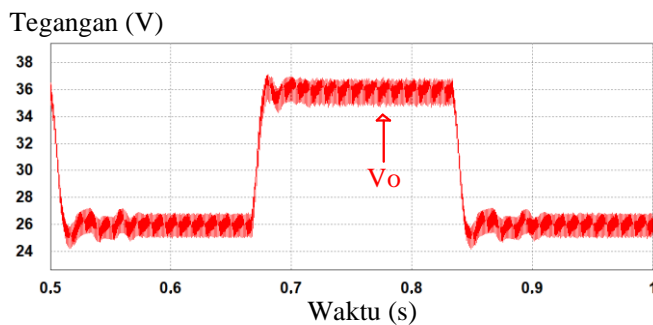


Gambar 15. Perbandingan tegangan aktual 1 dan tegangan referensi rangkaian DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler



Gambar 16. Perbandingan tegangan aktual 2 dan tegangan referensi rangkaian DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler

Selisih dari tegangan aktual dan tegangan referensi tersebut kemudian dikalikan dengan nilai PI yang didapat. Kemudian dikomparasikan dengan sinyal pembawa, hasil komparasi tersebut menghasilkan sinyal modulasi lebar pulsa yang kemudian digunakan untuk mengendalikan saklar S1 dan S2 sehingga didapat tegangan keluaran yang terkendali. Hasil simulasi tegangan keluaran pada rangkaian DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Tegangan keluaran rangkaian DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler

Tabel II merupakan parameter yang digunakan pada implementasi perangkat keras. Implementasi perangkat keras dilakukan guna memastikan sistem yang dirancang dapat bekerja dengan baik. Pada implementasi perangkat keras ini, digunakan potensiometer untuk menghasilkan bentuk gelombang DC lurus. Hal ini disesuaikan dengan

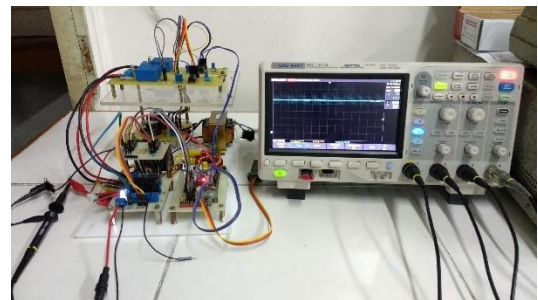
pengaplikasian sebagai sumber tegangan yang akan dilakukan terhadap inverter lima level.

TABEL II. PARAMETER PERANGKAT KERAS

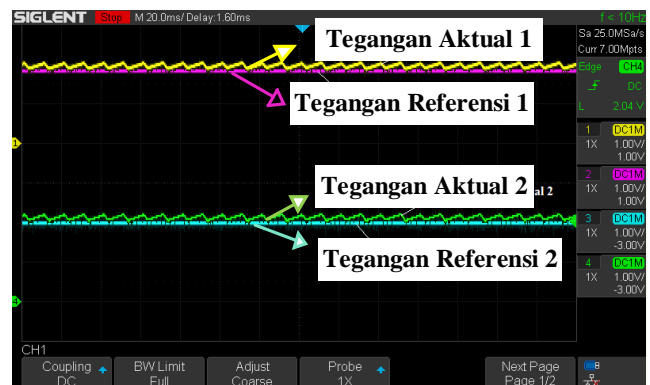
Parameter	Nilai
Sumber DC	12,5 V
Induktor L1 & L2	2 mH
Beban Kapasitor	220 uF
Beban Resistor	2200 Ohm

Dari parameter pada Tabel II, dilakukan pengaturan pada perangkat keras di laboratorium. Pengaturan dilakukan sesuai dengan blok kendali yang telah dipaparkan pada Gambar 14. Pada perangkat keras, IC IR2110 digunakan sebagai driver dari saklar IRFP460, komponen LV25-P digunakan sebagai sensor tegangan, STM32F1038CT digunakan untuk mengontrol pengendalian saklar. Hasil dari pengaturan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 18. Hasil perbandingan tegangan aktual 1 dan tegangan referensi 1, serta tegangan aktual 2 dan tegangan referensi 2 pada perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 19.

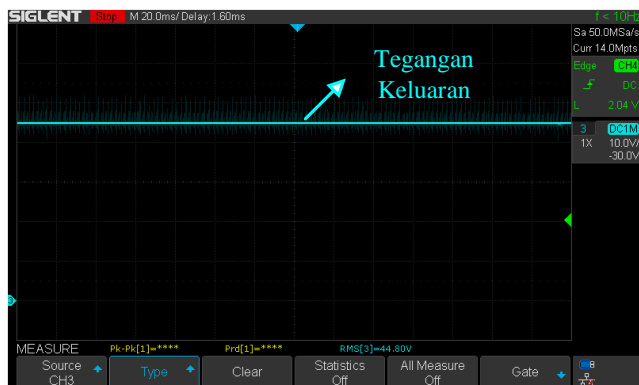
Tegangan aktual 1 dan tegangan aktual 2 pada perangkat keras bernilai 2 V. Sedangkan tegangan referensi 1 dan tegangan referensi 2 pada perangkat keras bernilai 1,99 V. Tegangan keluaran pada perangkat keras bernilai 44,8 V. Tegangan keluaran yang dihasilkan dari implementasi perangkat keras dua kali tegangan keluaran DC-DC boost converter konvensional. Hasil tegangan keluaran pada perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 18. Pengaturan perangkat keras DC-DC boost converter tipe Voltage Doubler



Gambar 19. Perbandingan tegangan aktual 1 dan tegangan referensi 1, serta tegangan aktual 2 dan tegangan referensi 2 pada perangkat keras



Gambar 20. Tegangan keluaran pada perangkat keras

Dilihat dari rangkaian pada penelitian tentang topologi rangkaian *DC-DC boost converter* yang disisipkan pada modifikasi *full-wave Voltage Doubler* [1] memiliki pengendalian yang cukup rumit dan rangkaian *Voltage Doubler SEPIC PFC Rectifier* [16] memiliki konfigurasi rangkaian yang cukup rumit. Topologi rangkaian yang ditawarkan pada penelitian ini lebih sederhana, sehingga biaya yang dikeluarkan lebih sedikit dan memiliki pengendalian yang mudah dengan metode pengendalian saklar menggunakan modulasi lebar pulsa yang tergeser sebesar 180° .

Dari hasil pengujian yang dilakukan terbukti bahwa *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* dapat bekerja dengan baik, dilihat dari tegangan aktual yang mengikuti tegangan referensi dan menghasilkan tegangan keluaran dua kali tegangan keluaran *DC-DC boost converter* konvensional. *Inverter lima level* pada aplikasi PLTS [11] - [13] menggunakan dua buah *DC-DC converter* konvensional dan pada aplikasi SPD [9] menggunakan dua buah sumber DC agar *inverter* dapat bekerja sehingga menyebabkan kompleksitas rangkaian yang lebih tinggi. *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* dapat digunakan sebagai pengganti dua buah sumber DC tersebut sehingga hanya membutuhkan satu buah sumber DC dengan rangkaian yang lebih sederhana.

IV. PENUTUP

Pada simulasi dengan perangkat lunak Power Simulator, baik tegangan aktual 1 maupun tegangan aktual 2 mengikuti bentuk gelombang tegangan referensi dan menghasilkan tegangan keluaran dua kali tegangan keluaran *DC-DC boost converter* konvensional. Implementasi pada perangkat keras terbukti mampu menghasilkan tegangan keluaran dua kali tegangan *DC-DC boost converter* konvensional. Nilai tegangan keluaran pada implementasi perangkat keras sebesar 44,8 V. Baik tegangan aktual 1 maupun tegangan aktual 2 juga mengikuti bentuk gelombang tegangan referensi dengan nilai tegangan aktual 1 dan 2 berturut-turut adalah 2 V dan 1,99 V. Dengan hasil tersebut, metode kendali pada rangkaian *DC-DC boost converter* tipe *Voltage Doubler* terbukti berhasil dan mampu menghasilkan gelombang keluaran sesuai dengan yang diinginkan. Topologi rangkaian juga menjadi lebih sederhana, mudah dikendalikan, dan biaya murah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih atas pembiayaan dari Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional dalam skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi tahun anggaran 2020 dengan Nomor SK: 010/ LL6/PG/SP2H.1/AMD/PENELITIAN/2020.

REFERENSI

- [1] T.-H. Lo, J. Teng, and B. J. Huang, "Interleaved Voltage-Doubler Boost Converter for Power Factor Correction," in *2018 International Power Electronics Conference, IPEC-Niigata - ECCE Asia 2018*, pp. 3528–3532, 2018.
- [2] G. M. Idris, I. N. W. S, and I. K. Wiryajati, "Investigasi Sudut Penyalan Inverter Multilevel dengan Struktur Cascaded H-Bridge untuk Sistem PLTS," *Dielektrika*, vol. 2, no. 2, pp. 81–90, 2015.
- [3] C. Mouliza, M. Vasya, R. S. Lubis, and M. Gapy, "Simulasi Filter Aktif Cascaded Multilevel Inverter Untuk Meminimalisir Harmonisa Pada Motor Induksi 3 Fasa," *J. Karya Ilm. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 3, pp. 19–29, 2019.
- [4] X. Sun, B. Wang, Y. Zhou, W. Wang, H. Du, and Z. Lu, "A Single DC Source Cascaded Seven-Level Inverter Integrating Switched-Capacitor Techniques," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 63, no. 11, pp. 7184–7194, 2016.
- [5] D. Van Vo, M. K. Nguyen, D. T. Do, and Y. O. Choi, "A single-phase nine-level boost inverter," *Energies*, vol. 12, no. 3, pp. 1–14, 2019.
- [6] B. Maharmi, "Perancangan Inverter Satu Fasa Lima Level Modifikasi Pulse Width Modulation," *J. Teknol. Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 24–31, 2017.
- [7] Aarya and D. Sankar, "Multilevel Inverters-A Comparative Analysis," in *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, pp. 43–50, 2017.
- [8] S. Bhattacharya, D. Mazumder, T. Bose, M. K. Das, S. Ghosal, and S. Jana, "Design of a Cascaded DC High Voltage Generator Based on Cockcroft-Walton Voltage Doubler Circuit," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 4, no. 6, pp. 56–59, 2016.
- [9] S. Sau and B. G. Fernandes, "Modular Multilevel Converter Based Variable Speed Drive with Reduced Capacitor Ripple Voltage," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 66, no. 5, pp. 3412–3421, 2019.
- [10] L. M. Krishna, J. N. C. Sekhar, A. Sreenivasulu, and G. P. R. Reddy, "Improved Dynamic Performance of a Multilevel Inverter fed Variable Speed Drive using ANFIS and Genetic Algorithms Improved Dynamic Performance of a Multilevel Inverter fed Variable Speed Drive using ANFIS and Genetic Algorithms," *Journal of Automation and System Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 308 - 320, 2017.
- [11] B. Zhao, A. Abramovitz, C. Liu, Y. Yang, and Y. Huangfu, "A Family of Single-Stage, Buck-Boost Inverters for Photovoltaic Applications for Photovoltaic Applications," *Energies, MDPI*, vol. 13, pp. 1–21, 2020.
- [12] F. Reza Muhammad Rizki, S. Riyadi, and L. Heru Pratomo, "A SPWM Controlled Input in Dual Buck DC-DC Converter - Full Bridge for Single-Phase Five-Level Inverter," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1444, no. 1, 2020.
- [13] P. Kumari, R. K. Keshari, and S. Banerjee, "Design and implementation of photovoltaic module using multilevel inverter and boost converter," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 11, pp. 1064–1068, 2017.
- [14] V. A. K. Prabhala, P. Fajri, V. S. P. Gouribhatla, B. P. Baddipadiga, and M. Ferdowsi, "A DC-DC Converter with High Voltage Gain and Two Input Boost Stages," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, no. 6, pp. 4206–4215, 2016.
- [15] T. Mitani, S. Kawashima, and T. Nishimura, "Analysis of Voltage Doubler Behavior of 2.45-GHz Voltage Doubler-Type Rectenna," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 65, no. 4, pp. 1051–1057, 2017.
- [16] P. J. S. Costa, C. H. I. Font, and T. B. Lazzarin, "Single-Phase Hybrid Switched-Capacitor Voltage-Doubler SEPIC PFC Rectifiers," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 33, no. 6, pp. 5118–5130, 2018.