

Desain dan Simulasi Ultra Step-Up Converter pada Mobil Listrik dengan Kontrol Fuzzy Logic

Rifqi Dary Suryanto¹, Era Purwanto², Syechu Dwitya Nugraha³

^{1,2,3}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Depatemen Elektro

Kampus PENS, Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

E-mail: rifqidary@gmail.com¹, era@pens.ac.id², syechu@pens.ac.id³

Abstrak

Baterai merupakan sebuah komponen penting yang digunakan untuk menggerakkan motor maupun instrumen pada mobil listrik, namun jumlah baterai yang digunakan perlu diperhatikan untuk menyesuaikan tegangan kerja yang dibutuhkan. Apabila motor induksi tiga fasa digunakan sebagai penggerak mobil listrik, maka diperlukan tegangan pada baterai sebesar 326 Vdc yang selanjutnya dialirkan ke inverter tiga fasa menjadi 230 Vac yang kemudian akan dimanfaatkan sebagai suplai pada motor induksi 3 fasa. Sehingga untuk meminimalisir jumlah baterai yang akan digunakan pada penelitian ini akan dirancang sistem penaik tegangan yaitu *Ultra Step-Up Converter* yang berfungsi untuk menaikkan tegangan kerja dari baterai aki yang semula 48 Vdc hingga diperoleh tegangan keluaran sebesar 326 Vdc yang mampu dibebani mencapai 1.2 kW. Pada konverter ini akan ditambahkan dengan kontrol logika fuzzy sebagai pengatur tegangan keluaran agar tetap konstan 326 Vdc meskipun tegangan pada baterai berubah-ubah.

Kata kunci: Mobil Listrik, *Non-Isolated DC-DC Converter*, Pengendali Logika Fuzzy

Abstract

The battery is an important part used to drive motors and instruments in electric cars, but the number of batteries used needs to be considered to adjust the required working voltage. If a three-phase induction motor is used to drive an electric car, a battery voltage of 326 Vdc is required which is then supplied to a three-phase inverter to 230 Vac which will then be used as a supply to a 3-phase induction motor. So that to decrease the number of batteries to be used in this study, a voltage booster system, namely the Ultra Step-Up Converter will be designed which functions to increase the working voltage of the battery which was originally 48Vdc until the output voltage of 326 Vdc is obtained which can be loaded up to 1.2 kW. This converter will be added with fuzzy logic control to control the output voltage so that it remains constant at 326 Vdc even though the voltage on the battery varies.

Keywords: *Electric Car, Non-Isolated DC-DC Converter, Fuzzy Logic Controller*

1. Pendahuluan

Seperti yang kita ketahui perkembangan pada bidang transportasi darat bertenaga mesin saat ini mengalami peningkatan yang sangat pesat. Seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan tersebut, dibutuhkan ketersediaan bahan bakar fosil yang cukup tinggi. Namun perlu diketahui bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui lagi serta dapat menimbulkan pencemaran udara yang tidak baik bagi lingkungan. Sehingga diperlukan solusi kendaraan yang dapat digerakkan tanpa menggunakan bahan bakar fosil. Maka dari itu dengan adanya kendaraan listrik yang merupakan solusi untuk

menggantikan

kendaraan berbahan bakar fosil yang tidak ramah lingkungan.

Salah satu contoh kendaraan listrik saat ini adalah mobil listrik. Namun terdapat beberapa permasalahan yang timbul pada mobil listrik tersebut, Salah satunya adalah pemenuhan dan penghematan konsumsi daya yang dibutuhkan. Pada mobil listrik terdapat suatu sumber energi yang diperlukan untuk memenuhi pemenuhan daya tersebut, sumber energi tersebut adalah baterai. Baterai merupakan sumber energi yang diperlukan untuk menggerakkan motor maupun instrumen pada mobil. Namun jumlah baterai yang

akan digunakan perlu diperhatikan untuk menyesuaikan tegangan kerja yang dibutuhkan pada mobil tersebut. Apabila tegangan masukan pada motor yang digunakan sebesar 230 Vrms maka diperlukan banyak baterai untuk menggerakkan motor tersebut. Namun apabila baterai yang digunakan cukup banyak maka akan berpengaruh pada biaya dan berat pada mobil itu sendiri.

Sebagai upaya untuk meminimalisir baterai yang akan digunakan. Maka dibutuhkan sebuah konverter dengan kemampuan penguatan tegangan yang tinggi serta efisiensi yang baik [1,2,3]. Sampai saat ini terdapat macam-macam jenis *DC-DC Converter* yang dapat digunakan untuk menaikkan tegangan, Salah satu contohnya adalah *Boost Converter*, *Quadratic Boost Converter*, *Cascaded Boost Converter*, dan *Interleaved Boost Converter* namun konverter tersebut memiliki beberapa kelemahan yaitu penguatan tegangan yang dihasilkan tidak lebih dari 10x [4]. Terdapat pula cara lain yaitu dengan menggunakan *DC-DC Converter* yang mengkombinasikan *Luo Converter* dan *Flyback Converter* [5,6] yang dimana konverter ini mampu untuk menaikkan tegangan sesuai dengan kebutuhan beban baik dari sisi tegangan maupun arus. Namun, konverter tersebut memiliki rugi-rugi yang cukup besar akibat komponen penyusun utamanya yaitu transformator. Pada transformator tersebut dapat timbul fluks bocor yang dapat menimbulkan arus *spike* dan *noise* sehingga dapat menyebabkan terjadinya rugi-rugi yang cukup besar[4].

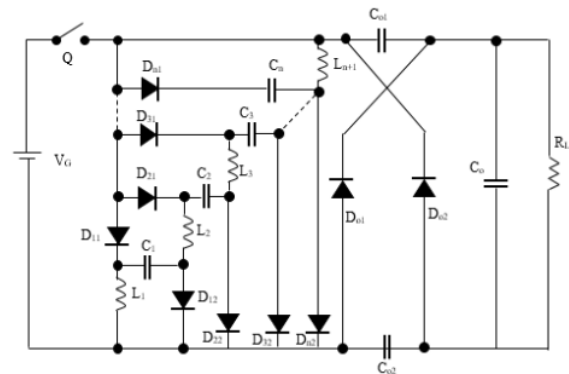
Oleh karena itu, untuk mengatasi banyaknya baterai yang akan digunakan, maka pada penelitian ini akan digunakan *Ultra Step-Up Converter* [2,3] yang mampu untuk menaikkan tegangan dengan penguatan yang tinggi hingga diperoleh tegangan sebesar 326 Vdc dengan efisiensi yang lebih baik, Serta pada konverter ini akan diberikan kontrol fuzzy dengan tujuan mengontrol nilai *duty cycle* untuk mengatur pensaklaran PWM agar tegangan keluaran sesuai dengan target yang diinginkan dan mengurangi *overshoot* yang dapat ditimbulkan oleh *Ultra Step-Up Converter* [7]. Sehingga diharapkan pembuatan *Ultra Step-Up Converter* ini dapat menghasilkan kinerja yang baik bagi inverter untuk menggerakkan motor induksi 3 fasa.

2. Metode

A. Ultra Step Up Converter

Ultra Step Up Converter adalah sebuah DC-DC konverter yang dapat untuk menguatkan tegangan dengan penguatan yang lebih tinggi daripada *boost converter* [2,3,7,8]. Menurut jurnal [3] *Ultra Step Up Converter* menggunakan salah satu metode yang digunakan yaitu metode n-stages yang merupakan kombinasi antara diode, kapasitor, dan induktor (D-C-L) pada sisi masukan sehingga konverter ini memungkinkan untuk mencapai tegangan tinggi

dengan meningkatkan tingkat kombinasi (D-C-L) Keuntungan dari *Ultra Step Up Converter* ini adalah besarnya tegangan yang melewati komponen semikonduktor akan tetap konstan meskipun jumlah tingkatan kombinasi (D-C-L) semakin banyak [3].

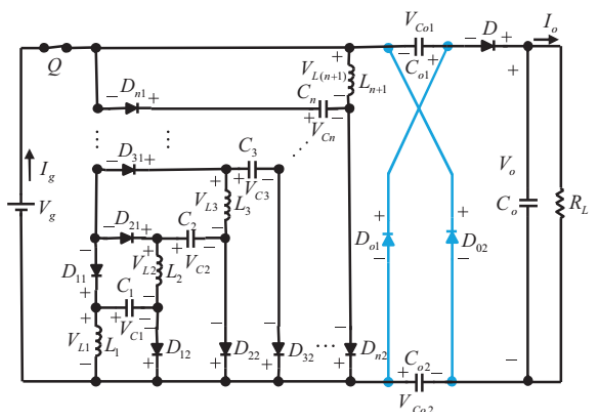


Gambar 1: Rangkaian Ultra Step Up Converter[3]

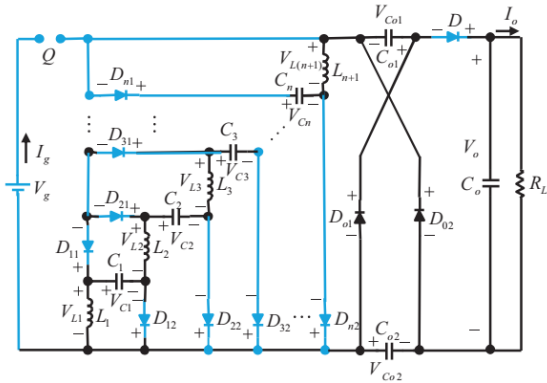
Rangkaian *Ultra Step-Up Converter* dapat ditunjukkan pada gambar 1. Pada saat *interval Ton* kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n dan induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} akan mengalami kondisi pengisian oleh tegangan sumber. Apabila dioda D_{o1} dan D_{o2} dimatikan maka kapasitor C_{o1} dan C_{o2} akan mengalami kondisi pengosongan ke beban. Ketika saklar Q dalam kondisi terbuka, maka dioda $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{n1}, D_{n2}$ akan dalam kondisi mati sehingga kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n dan induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} akan terhubung secara seri antara komponen satu dengan lainnya sehingga kapasitor C_{o1} dan C_{o2} akan dalam kondisi pengisian secara seimbang dikarenakan kapasitor tersebut terhubung secara paralel.

Continuous Conduction Mode Operation

Continuous Conduction Mode merupakan suatu keadaan dimana komponen pensaklaran berada dalam kondisi terhubung (*close*) dan tidak terhubung (*open*) [9] hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3.

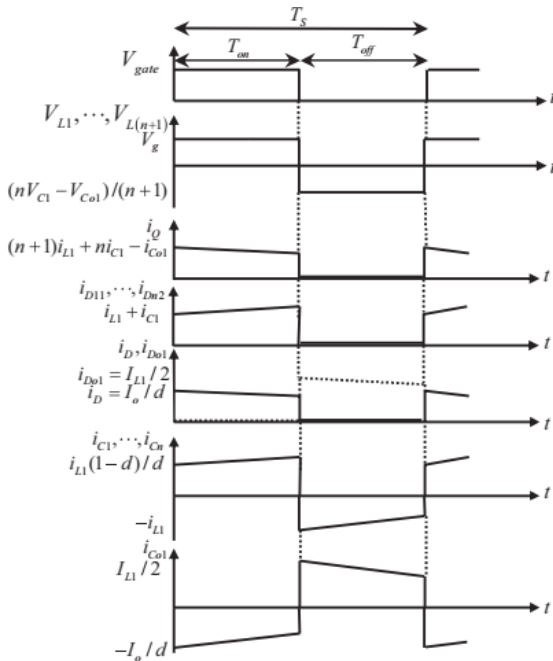


Gambar 2: Rangkaian pengganti konverter dalam keadaan CCM saat saklar terhubung [3]



Gambar 3: Rangkaian pengganti konverter dalam keadaan CCM saat saklar tidak terhubung [3]

Saat konverter dalam keadaan CCM, Nilai arus *ripple* dari induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} akan diabaikan. Serta pada saat keadaan CCM terdapat beberapa komponen yang mengalami keadaan pengisian dan ada pula yang mengalami pengosongan. Pada keadaan CCM terdapat dua interval waktu sesuai dengan diagram pewaktu yang ditunjukkan pada gambar 4. Pada interval waktu pertama yaitu $0 < t < dT_s$ kondisi saklar Q akan terhubung dan pada interval waktu lainnya adalah $dT_s < t < T_s$ dimana kondisi saklar akan terputus.



Gambar 4: Bentuk gelombang dari converter saat CCM [3]

Saat interval waktu pertama $\{0 < t < dT_s\}$: saklar Q akan terhubung. Dioda $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{n1}, D_{n2}$ akan pada kondisi *forward bias* sehingga tegangan yang melewati dioda D_{o1} dan D_{o2} dapat dinyatakan pada persamaan 1 sebagai berikut:

$$V_{D_{o1}} = V_{D_{o2}} = V_{C_{o1}} - V_o \quad (1)$$

Oleh karena itu dioda akan dalam kondisi tidak aktif, Sehingga kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n dan induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} akan terhubung secara paralel dengan sumber tegangan, sehingga kapasitor dan induktor akan mengalami kondisi pengisian. Pada saat kondisi

pengisian, tegangan yang masuk di seluruh komponen konverter dapat dinyatakan pada persamaan 2 dan 3.

$$V_{C1} = V_{C2} = \dots = V_{Cn} = V_g \quad (2)$$

$$V_{L1,1} = V_{L2,1} = \dots = V_{L(n+1),1} = V_g \quad (3)$$

Pada saat kondisi pengisian, berdasarkan hukum kirchoff (KVL), tegangan yang melintasi kapasitor C_{o1} dan C_{o2} dapat dinyatakan pada persamaan 4.

$$V_{C_{o1}} = V_{C_{o2}} = \frac{V_o - V_g}{2} \quad (4)$$

Apabila besarnya nilai induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} bernilai sama, maka besarnya nilai arus pada induktor dapat dinyatakan pada persamaan 5.

$$i_{L1} = i_{L2} = i_{L(n+1)} \quad (5)$$

Sehingga besarnya arus yang mengalir pada dioda $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{n1}$, didapatkan dari penjumlahan arus induktor pada persamaan 5 dan kapasitor sesuai dengan besarnya tingkatan konverter sehingga didapatkan persamaan 6 sebagai berikut.

$$i_{D_{11}} = i_{L1} + i_{C_{1,1}}$$

$$i_{D_{12}} = i_{L2} + i_{C_{1,2}}$$

.

$$i_{D_{n1}} = i_{L_n} + i_{C_{n,1}}$$

$$i_{D_{n2}} = i_{L(n+1)} + i_{C_{n,1}} \quad (6)$$

Dimana $i_{C_{1,1}}, i_{C_{1,2}}, \dots, i_{C_{n,1}}$ adalah arus yang melalui kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n selama interval waktu pertama dan berdasarkan persamaan 6 dengan mengasumsikan arus dari kapasitor bernilai sama, maka didapatkan persamaan 7 sebagai berikut.

$$i_{D_{11}} = i_{D_{12}} = \dots = i_{L1} + i_{C_{1,1}} \quad (7)$$

Sehingga dari persamaan 7 didapatkan persamaan arus saklar Q sama dengan:

$$i_Q = i_L + i_{D_{11}} + i_{D_{22}} + \dots + i_{D_{n2}} - i_{C_{o1,1}} \quad (8)$$

Dimana $i_{C_{o1,1}}$ adalah arus yang melalui kapasitor C_{o1} sehingga dengan mensubstitusikan persamaan 7 dan persamaan 8, maka arus pada saklar Q dapat dinyatakan pada persamaan 9 sebagai berikut.

$$i_Q = (n + 1)i_{L1} + ni_{C_{1,1}} - i_{C_{o1,1}} \quad (9)$$

Selanjutnya saat Interval waktu kedua $\{dT_s < t < T_s\}$ atau pada saat saklar Q tidak terhubung. Dioda $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{n1}, D_{n2}$ akan tidak aktif sesuai pada gambar 3. Oleh karena itu, kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n dan induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} akan terhubung seri satu sama lain sehingga kapasitor C_{o1} dan C_{o2} akan mengalami kondisi pengisian secara paralel. Arus yang mengalir pada kondisi pengisian kapasitor C_{o1} dan C_{o2} serta dioda D_{o1} dan D_{o2} dapat dinyatakan pada persamaan 10.

$$i_{C_{o1,2}} = i_{C_{o1,2}} = i_{D_{o1}} = i_{D_{o2}} = \frac{i_{L1}}{2} \quad (10)$$

Sehingga besarnya arus yang mengalir pada kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n , saat interval waktu kedua dapat

dinyatakan pada persamaan 11.

$$i_{C1,2} = i_{C2,2} = \dots = i_{Cn,2} = I_{L1} \quad (11)$$

Pada interval waktu kedua tegangan yang melalui induktor dapat dinyatakan pada persamaan 12.

$$V_{L1,n,2} = V_{L2,2} = \dots = V_{L(n+1),2} = \frac{nV_{C1} - V_{Co1}}{n+1} \quad (12)$$

Selanjutnya tegangan yang melalui dioda $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{n1}, D_{n2}$ dapat dinyatakan pada persamaan 13 dan 14.

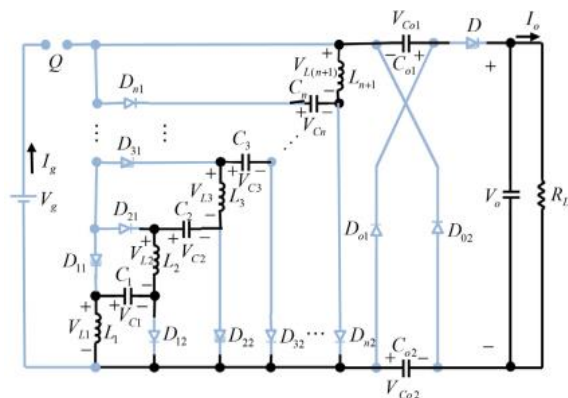
$$V_{D1(i+1)} = V_{D(n-i)2} = \frac{V_g - V_o}{2(n+1)}(n - i) \quad (13)$$

$$V_D = V_o - V_{Co1} \quad (14)$$

Sehingga dari persamaan 14 dapat diketahui bahwa pada interval waktu kedua kondisi dioda dalam kondisi tidak aktif.

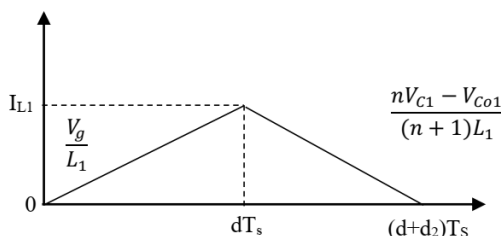
Discontinuous Conduction Mode Operation

Rangkaian pengganti dari *Ultra Step-Up Converter* saat kondisi DCM dapat ditunjukkan pada gambar 5. Pada interval waktu ketiga $[(d+d_2)T_s < t < T_s]$ d_2 adalah waktu normalisasi yang diakhiri dari interval waktu pertama $t_1 < t < t_2$ hingga arus induktor bernilai nol.



Gambar 5: Bentuk gelombang dari converter saat DCM [3]

Saat kondisi DCM arus induktor L_1 (I_{L1}) dapat ditunjukkan pada gambar 6. Seperti yang dapat dilihat pada gambar tersebut, arus induktor (I_{L1}) akan mencapai nol dan akan tetap kenilai ini sampai saklar Q dalam kondisi aktif.



Gambar 6: Arus induktor L_1 (I_{L1}) saat DCM [3]

Pada kondisi DCM tegangan rata rata induktor L_1 pada satu periode pensaklaran adalah nol, Sehingga persamaan yang didapatkan untuk d_2 dapat dinyatakan pada persamaan 15

$$d_2 = \frac{2(n+1)dV_g}{V_o - (2n+1)V_g} \quad (15)$$

Perhitungan nilai komponen konverter

Duty Cycle

Besarnya nilai dutycycle yang digunakan merupakan hasil dari perhitungan yang diperoleh dari banyaknya *stages* konverter serta besarnya tegangan keluaran, dan tegangan masukan.

$$D = \frac{V_o - V_{in} \times (1+2n)}{V_{in} + V_o} \quad (16)$$

Keterangan :

D = Duty Cycle

V_o = Tegangan Keluaran

V_{in} = Tegangan Masukan

n = Banyaknya *stages* konverter

Desain Induktor (L_1, L_2, \dots, L_n)

Perhitungan nilai induktor dari desain konverter dapat dinyatakan pada persamaan 17

$$L_{min} = \frac{V_o \times d \times d'}{4 \times f_s \times I_o \times (2n+1+d)} \quad (17)$$

Keterangan :

L_{min} = Nilai induktor minimum

V_o = Tegangan Keluaran

V_{in} = Tegangan Masukan

d = Duty Cycle

d' = Hasil bagi antara Toff dengan T_s ($Toff/T_s$)

f_s = Frekuensi *switching*

n = Banyaknya *stages* konverter

Desain Kapasitor Masukan (C_1, C_{o1}, C_{o2})

Perhitungan nilai kapasitor masukan pada setiap tingkatan yang dipakai dalam desain konverter dapat dinyatakan pada persamaan 18

$$C_1 = \frac{2V_o}{|\Delta V_{cmax}| \times R_l \times f_s} \quad (18)$$

Keterangan :

C_1 = Kapasitor Masukan

V_o = Tegangan Keluaran

ΔV_{cmax} = *Ripple* tegangan maksimum kapasitor

R_l = Resistansi Beban

f_s = Frekuensi *switching*

Desain Kapasitor Keluaran (C_o)

Perhitungan nilai kapasitor filter pada sisi

keluaran konverter dapat dinyatakan pada persamaan 19

$$C_o = \frac{dI_o}{(\Delta V_{omax}) \times F_s} \quad (19)$$

Keterangan :

C = Kapasitor Keluaran

d = Duty Cycle

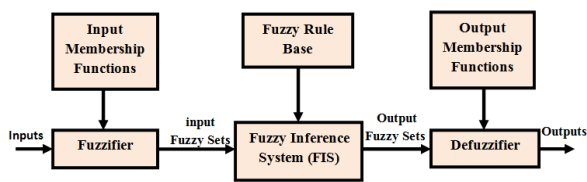
I_o = Arus keluaran

ΔV_{omax} = *Ripple* tegangan maksimum kapasitor

F_s = Frekuensi *switching*

B. Pengendali Logika Fuzzy

Pengendali logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output yang mempunyai nilai kontinu. Dengan logika fuzzy hasil yang akan keluar tidak akan selalu konstan dengan input yang ada. Kelebihan dari logika fuzzy adalah kemampuan dalam proses penalaran secara bahasa (*linguistic reasoning*). Sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematik dari objek yang akan dikendalikan. Struktur kendali fuzzy yang akan digunakan terdiri dari 9 fungsi keanggotaan, 81 aturan dasar, dua *error* yaitu *error* input (E) dan perubahan *error* (ΔE)



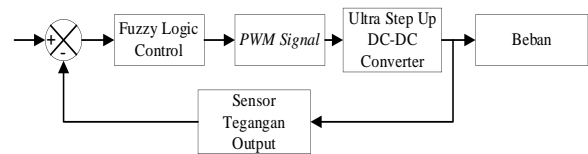
Gambar 7: Struktur Logika Fuzzy [10]

Tabel 1
Aturan Dasar Fuzzy 9x9

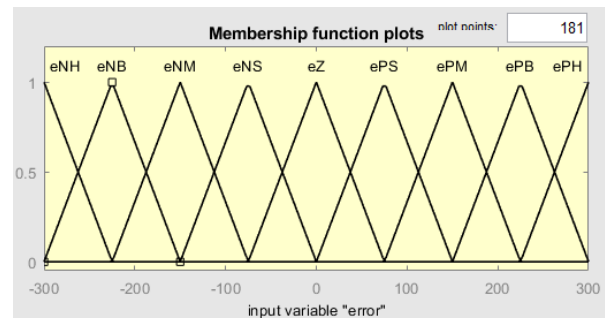
E/ ΔE	NH	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PH
NH	NH	NH	NH	NH	NH	NB	NM	NS	Z
NB	NH	NH	NH	NH	NB	NM	NS	Z	PS
NM	NH	NH	NH	NB	NM	NS	Z	PS	PM
NS	NH	NH	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
Z	NH	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PH
PS	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PH	PH
PM	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PH	PH	PH
PB	NS	Z	PS	PM	PB	PH	PH	PH	PH
PH	Z	PS	PM	PB	PH	PH	PH	PH	PH

Pada *Ultra Step-Up Converter* membutuhkan pengontrol untuk menstabilkan tegangan output agar nilainya tetap konstan. Kontrol fuzzy ini menggunakan hasil interpretasi tegangan output sebagai umpan balik pada logika fuzzy untuk ditetapkan sebagai parameter dalam menentukan

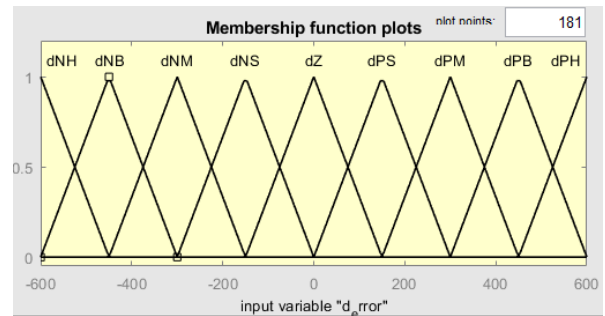
dutycycle sebagai keluaran untuk pembangkitan pulsa. Blok diagram pengendali logika fuzzy ditunjukkan pada gambar 8. Dengan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga pada model logika fuzzy sugeno.



Gambar 8: Blok Diagram Pengendali Logika Fuzzy



(a)



(b)

Gambar 9: Variabel Fuzzy (a) input error (b) input delta error

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, penulis merencanakan tegangan keluaran sebesar 326 Vdc dan tegangan masukan sebesar 48 Vdc. Sedangkan tingkatan yang digunakan adalah tingkatan 1. Parameter sistem ditunjukkan pada Tabel 2 untuk merancang *Ultra Step-Up Converter* sebagai penaik tegangan pada baterai.

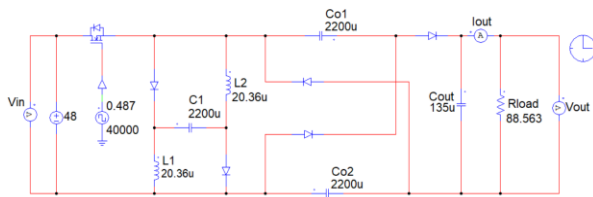
Tabel 2
Parameter Sistem

Parameter	Nilai
Tegangan Masukan (Vin)	48V
Tegangan Keluaran (Vout)	326V
Arus Keluaran (Iout)	3.68 A
Frekuensi Switching (Hz)	40kHz
Ripple Tegangan Keluaran (ΔV_o)	0.1%
Induktor (L1,L2)	20.36 μ H
Kapasitor Masukan (C1,Co1,Co2)	2200 μ F
Kapasitor Keluaran (Co)	135 μ F

Percobaan secara simulasi ini dilakukan dengan menggunakan *software* PSIM. Simulasi akan dilakukan dalam 2 tahap yaitu secara *openloop* dan *closeloop*. Simulasi secara *openloop* dilakukan dengan memanfaatkan sinyal *dutycycle* dari rangkaian pembangkit pulsa dengan tidak memanfaatkan

pengendali logika fuzzy. Simulasi secara *closeloop* akan dilakukan dengan menggunakan pengendali logika fuzzy untuk mengatur besarnya *dutycycle* sebagai rangkaian pembangkit pulsa.

A. Simulasi Secara *Openloop*



Gambar 10: Rangkaian Ultra Step Up Converter Secara *Openloop*

Tabel 3
Data hasil percobaan secara *openloop*

V _{in} (V)	Duty Cycle (%)	V _{out} simulasi (V)	V _{out} perhitungan (V)	I _{out} simulasi (A)	P _{out} (W)
48	10	164.89	165.33	1.861	306.86
	15	177.5	177.88	2.004	355.71
	20	201.55	192.00	2.275	458.53
	25	215.82	208.00	2.436	525.74
	30	237.9	230.26	2.68	637.57
	35	260.8	247.38	2.94	766.75
	40	283.8	272.00	3.2	908.16
	45	307.27	301.09	3.46	1063.15
	48,7	325.7	326.00	3.676	1197.27

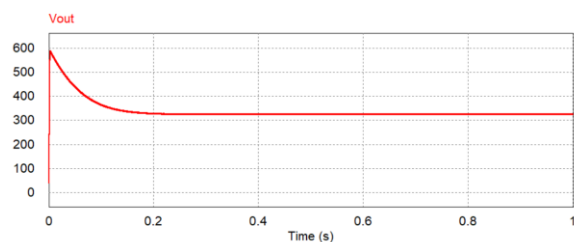
Berdasarkan tabel 3 didapatkan bahwa konverter ini telah bekerja mendekati dengan perhitungan desainnya yaitu beroperasi pada tegangan nominalnya yaitu 48 Vdc dengan keluaran sebesar 326 Vdc dan arus keluaran I_{out} sebesar 3.68 pada saat duty cycle 48.7%. Pada hasil simulasi terdapat *error* antara tegangan keluaran. Besarnya *error* tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 20 sebagai berikut:

$$\%Error = \frac{|V_{out\text{perhitungan}} - V_{out\text{simulasi}}|}{V_{out\text{simulasi}}} \times 100 \% \quad (20)$$

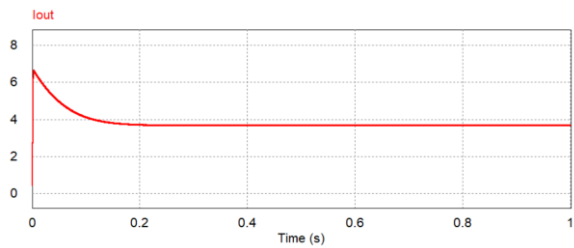
$$\%Error = \frac{|326 - 325.7|}{326} \times 100 \%$$

$$\%Error = 0.092 \%$$

Gelombang tegangan keluran dan arus keluaran dalam simulasi PSIM dapat ditunjukkan pada gambar 11 dan 12



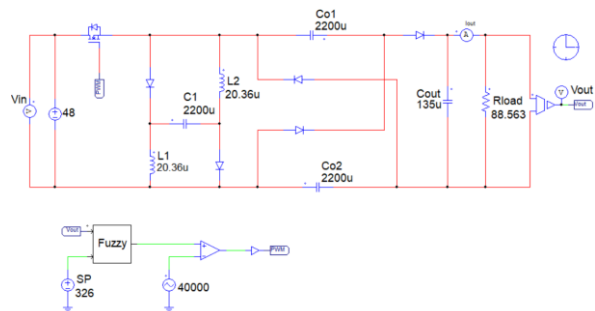
Gambar 11: Gelombang tegangan sisi keluaran konverter secara *openloop* pada duty cycle 48.7 % dan Vin 48 V



Gambar 12: Gelombang arus sisi keluaran konverter secara *openloop* pada duty cycle 48.7 % dan Vin 48 V

B. Simulasi Secara *Closeloop*

Simulasi secara *closeloop* ini dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi tegangan masukan. Hal ini dilaksanakan untuk mengetahui apakah pengendali logika fuzzy yang telah dirancang berhasil atau tidak. Variasi sumber tegangan untuk pengambilan data yang digunakan diantaranya dimulai dari 30 Vdc hingga 60 Vdc. *Setpoint* yang akan diatur pada pengendali logika fuzzy ini adalah sebesar 326 Vdc.

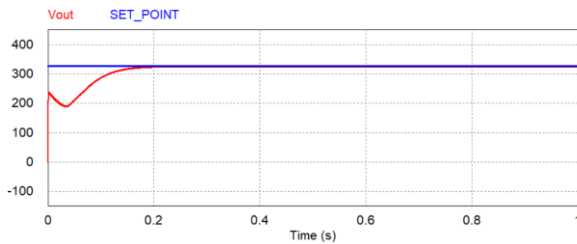


Gambar 13: Rangkaian Ultra Step Up Converter Secara *Closeloop*

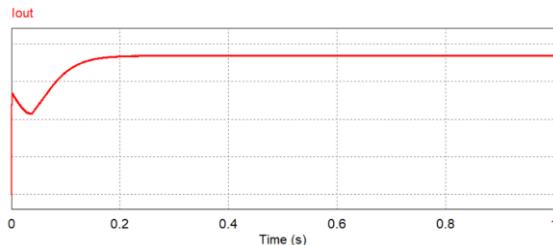
Tabel 4
Data hasil percobaan secara *closeloop*

V _{in} (V)	Setpoint (V)	V _{out} Simulasi (V)	I _{out} Simulasi (A)	P _{out} Simulasi (W)	Persentase Error V _{out} (%)
30	326	326.177	3.682	1200.984	0.0542
40		326.05	3.681	1200.006	0.0153
48		325.998	3.68	1199.672	0.00006
50		326.08	3.682	1200.054	0.0245
60		326.017	3.681	1200.069	0.0005

Berdasarkan tabel 4 didapatkan bahwa dengan menggunakan pengendali logika fuzzy konverter ini dapat menghasilkan tegangan keluaran mendekati nilai setpoint yang telah diatur yaitu sebesar 326 Vdc. Pada saat tegangan masukan bernilai 48 V didapatkan tegangan keluaran sebesar 325.998 V dan arus keluaran sebesar 3.68 A sehingga daya keluaran yang dihasilkan pada konverter ini adalah 1119.672 W. Serta saat menggunakan pengendali logika fuzzy overshoot yang dihasilkan pada sisi tegangan keluaran dan arus keluaran dapat diredam seperti pada gambar 14 dan 15.



Gambar 14: Gelombang tegangan sisi keluaran konverter secara *closeloop* pada V_{in} 48 V



Gambar 15: Gelombang arus sisi keluaran konverter secara *closeloop* pada V_{in} 48 V

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa pada bab sebelumnya, ultra step-up converter dapat menaikkan tegangan keluaran mencapai 326 Volt pada tegangan masukan sebesar 48 Volt. Dengan menggunakan pengendali logika fuzzy yang digunakan untuk mengontrol lebar pulsa dari rangkaian pembangkit pulsa, *overshoot* pada tegangan sisi keluaran dapat diredam serta tegangan sisi keluaran yang dihasilkan akan konstan mendekati 326 Volt meskipun nilai tegangan masukan berubah-ubah. Besarnya nilai *error* pada saat tegangan keluaran diberi tegangan masukan 48 Volt yaitu 0.00006 % dan error terbesar didapatkan sebesar 0.0542 % saat tegangan masukan senilai 30 Volt.

References

- [1] H. Y. Fang Lin Luo, *Advanced DC/DC Converters*, 2nd ed. Taylor & Francis Group, 2017.
- [2] A. A. Fardoun and E. H. Ismail, "Ultra Step-Up DC-DC Converter With Reduced Switch Stress," *IEEE Trans. on Ind. Applicat.*, vol. 46, no. 5, pp. 2025–2034, Sep. 2010, doi: 10.1109/TIA.2010.2058833.
- [3] T. Nouri, E. Babaei, and S. H. Hosseini, "A generalized ultra step-up DC-DC converter for high voltage application with design considerations," *Electric Power Systems Research*, vol. 105, pp. 71–84, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.epsr.2013.07.012.
- [4] B. Sri Revathi and M. Prabhakar, "Non isolated high gain DC-DC converter topologies for PV

- applications – A comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 66, pp. 920–933, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.08.057.
- [5] S. Arumugam and P. Logamani, "Modeling and adaptive control of modified LUO converter," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 71, p. 102889, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.micpro.2019.102889.
- [6] G. B. Loganathan, "Design and analysis of high gain Re Boost-Luo converter for high power DC application," *Materials Today: Proceedings*, p. S2214785320308154, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.075.
- [7] A. Jaya, F. D. Murdianto, E. Purwanto and A. Rachmatdianto, "Ultra Step Up Converter Using Fuzzy Sugeno on HVDC Application," 2019 2nd International Conference on Applied Information Technology and Innovation (ICAITI), Denpasar, Bali, Indonesia, 2019, pp. 82-87, doi: 10.1109/ICAITI48442.2019.8982157.
- [8] T. Jalilzadeh, N. Rostami, E. Babaei, and M. Maalandish, "Ultra-step-up dc-dc converter with low-voltage stress on devices," *IET Power Electronics*, vol. 12, no. 3, pp. 345–357, Mar. 2019, doi: 10.1049/iet-pel.2018.5356.
- [9] W. M. Akbar, E. Purwanto, and I. Ferdiansyah, "Rancang Bangun Ultra Step Up DC to DC Converter Pada Mobil Listrik," *INOVTEK - Seri Elektro*, vol. 2, no. 2, p. 80, Aug. 2020, doi: 10.35314/ise.v2i2.1333.
- [10] A. N. A-Amir and H. A. R. Akkar, "Artificial Intelligent Fuzzy Logic Controller Applied on 6DOF Robot Arm Using LabVIEW and FPGA," *Eur. J. Eng. Res. Sci.*, vol. 3, no. 5, p. 1, May 2018, doi: 10.24018/ejers.2018.3.5.661.