

Rancang Bangun *Ultra Step Up DC to DC Converter* Pada Mobil Listrik

Wildan Maulana Akbar¹, Era Purwanto², Indra Ferdiansyah³

^{1,2,3}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus PENS, Jl. Raya ITS, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota

email: maulanawildan10@gmail.com¹, era@pens.ac.id², indraferdi@pens.ac.id³

Abstrak - Dunia saat ini sedang mengalami kemajuan teknologi yang sangat pesat meliputi segala bidang yang menyangkut segala sisi kehidupan manusia. Salah satu bidang yang disoroti oleh para peneliti di dunia saat ini adalah pengembangan mobil listrik sebagai suatu upaya untuk meminimalisir penggunaan bahan bakar fosil yang semakin sedikit jumlahnya di alam. Mobil listrik digerakkan oleh motor listrik yang mendapatkan energi listrik dari baterai atau aki. Apabila dalam mobil listrik ini menggunakan penggerak berjenis motor induksi tiga fasa, maka baterai harus menyediakan tegangan sebesar 311 VDC untuk disalurkan ke inverter tiga fasa menjadi 220 VAC yang nantinya digunakan untuk suplai dari motor induksi tiga fasa. Tujuan dari penelitian ini untuk merancang sistem penaik tegangan menggunakan *Ultra step up DC to DC Converter* yang mampu menguatkan tegangan yang ada dalam baterai menjadi 311 VDC yang mampu dibebani hingga 2kW sehingga dapat meminimalisir penambahan baterai untuk menambah tegangan. Konverter ini juga dilengkapi oleh kontrol logika fuzzy sebagai pengatur tegangan pada sisi keluaran agar berada pada kondisi konstan 311 VDC.

Kata Kunci – *Converter*, Logika Fuzzy, Mobil Listrik.

Abstract - The world is currently experiencing rapid technological advances covering all fields that involve all aspects of human life. One of the areas highlighted by researchers today is in the area of supplying electric power sources for electric cars. In electric cars there are batteries that are used as sources of voltage that need of the car including moving the motor. However, the number of batteries used will depend on the working voltage required by the car and affect the weight of the car which is increasing. A device that is capable of amplifying the voltage is needed to minimize the amount of battery in the car. In this final project an *ultra step up DC to DC converter* is made which is able to amplify the voltage until a voltage of 311 VDC is obtained from the battery voltage source which was originally 48 VDC. This tool can be loaded up to 2 kW. This converter is equipped with a microcontroller in which the fuzzy logic control method is inserted in order to set the output voltage of the converter to match the desired target of 311 VDC. This voltage will later be used as a voltage source to run a three-phase induction motor 2 kW from an electric car.

Keywords – Converter, Fuzzy Logic Control, Electric Car.

I. PENDAHULUAN

Dunia saat ini sedang mengalami kemajuan teknologi yang sangat pesat meliputi segala bidang yang menyangkut segala sisi kehidupan manusia. Salah satu bidang yang disoroti oleh para peneliti saat ini adalah pada bidang kendaraan listrik terutama pada mobil listrik. Penggunaan kendaraan yang menggunakan bahan bakar fosil akan mengakibatkan pencemaran udara dan merusak lingkungan. Selain itu, keberadaan dari bahan bakar fosil saat ini semakin menipis sehingga diperlukan sebuah sumber energi baru sebagai sumber energi penggerak dari mobil [1]. Pada mobil listrik, sumber energi diperoleh dari baterai. Besarnya tegangan dalam

baterai akan berbanding lurus dengan volume dari baterai. Dalam hal ini penulis ingin membahas mengenai penguat tegangan pada mobil listrik sebagai sumber untuk motor induksi tiga fasa. Tegangan yang ingin dikuatkan dari baterai dibatasi 48 VDC menjadi 311 VDC. Terdapat beberapa jenis konverter yang bisa digunakan untuk menguatkan tegangan tersebut, diantaranya dengan menggunakan *boost converter*, *ultra step up DC to DC converter* dengan menggunakan transformer, *ultra step up DC to DC converter* dengan menggunakan konfigurasi induktor dan kapasitor, dan masih banyak lagi.

Penguatan tegangan dengan menggunakan *boost converter* untuk menguatkan tegangan 48 VDC menjadi 311 VDC bisa dilakukan dengan mengondisikan besarnya *dutycycle* yang mendekati nilai maksimalnya. Dalam sistem ini, *dutycycle* yang diperlukan tinggi mendekati nilai 1 agar diperoleh penguatan yang tinggi pula. Hal ini, dapat mengakibatkan stress tegangan pada masing-masing komponen yang terdapat pada konverter [2]. Selain menggunakan *boost converter*, penggunaan topologi lain seperti *flyback converter* yang memiliki penguatan tegangan yang tinggi sehingga dapat menguatkan tegangan sesuai dengan yang dibutuhkan. Namun, dalam *flyback converter* menggunakan transformer sebagai komponen utama untuk penguatan tegangan. Dalam transformer sangat rawan terjadinya kebocoran energi seperti rugi rugi arus eddy dan rugi rugi inti [3]. Terdapat cara lain untuk menguatkan tegangan yaitu dengan menggunakan *ultra step up DC to DC converter* dengan menggunakan autotransformer. Dalam penelitian tersebut, terlihat bahwa dengan menggunakan bantuan dari transformator penguatan tegangan dengan *dutycycle* sebesar 0,65 mencapai 400 VDC konstan. Namun arus pada sisi keluaran konverter terbilang rendah yaitu dibawah 1 A. Selain itu, penggunaan transformator perlu diwaspadai karena adanya rugi-rugi tegangan akibat adanya fluks bocor akibat transfer energi dari transformator [4]. Penggunaan *ultra step up converter* tanpa menggunakan komponen utama berupa transformator dapat digunakan. Menggunakan rangkaian yang terdiri dari beberapa kapasitor dan induktor sebagai komponen utama dapat mengurangi rugi-rugi yang terdapat dalam transformator. Dengan menggunakan topologi tersebut dapat menghasilkan penguatan tegangan yang tinggi sehingga dapat memenuhi kebutuhan penguatan tegangan yang tinggi pula. Namun, selain penguatan tegangan yang tinggi, juga diperlukan kehandalan dalam memenuhi kebutuhan daya yang cukup tinggi pula [5,6].

Berdasarkan pemikiran tersebut, maka penulis mengambil judul yaitu *Ultra step up DC to DC Converter* sebagai penaik tegangan pada mobil listrik. Sistem yang dibuat mampu menguatkan tegangan sehingga diperoleh tegangan keluaran yang konstan sebesar 311 VDC yang mampu dibebani hingga mencapai 2 kW untuk memenuhi kebutuhan konsumsi energi dari penggerak mobil listrik yang menggunakan motor induksi tiga fasa.

Ultra step up converter adalah sebuah DC-DC konverter yang mampu menguatkan tegangan dengan penguatan yang lebih tinggi daripada *boost converter*. Salah satu metode yang digunakan adalah metode n-stages, merupakan kombinasi antara diode, kapasitor, dan induktor (D-C-L) pada sisi *input* sehingga memungkinkan untuk meningkatkan tingkat kombinasi (D-C-L). Besarnya tegangan yang melewati komponen semikonduktor akan tetap konstan meskipun jumlah tingkatan kombinasi (D-C-L) semakin banyak [2].

Besarnya tegangan keluaran konverter bisa didapatkan dari Persamaan 1 [1].

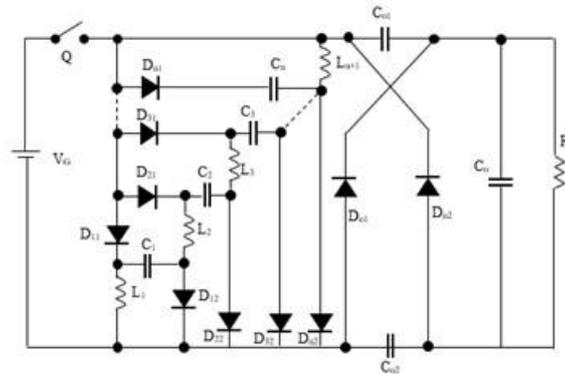
$$V_o = \frac{3+d}{1-d} \times V_{in} \quad (1)$$

Keterangan:

V_{in} : Tegangan *input*

V_o : Tegangan *output*

d : *dutycycle*



Gambar 1. Rangkaian *Ultra Step Up DC-DC Converter*

Nilai induktor minimum L_{min} ($L_1, L_2 \dots L_n$) didapatkan melalui Persamaan 2 [1]:

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

Keterangan:

V_o : Tegangan *output*

I_o : Arus *output*

d : *duty cycle*

d' : hasil bagi antara T_{off} dengan T_s (T_{off}/T_s)

f_s : frekuensi *switching*

n : banyaknya *stage*

Untuk mendapatkan nilai C_1 digunakan Persamaan 3 [1]:

$$C_1 = \frac{2V_o}{|\Delta V_{C_{max}}| f_s} \tag{3}$$

Keterangan :

V_o : Tegangan keluaran

$\Delta V_{C_{max}}$: Riak tegangan maksimum yang diinginkan melewati kapasitor

f_s : frekuensi *switching*

Sedangkan untuk mendapatkan nilai C_o digunakan Persamaan 4 [1]:

$$C_o = \frac{d I_o}{\Delta V_o \max f_s} \tag{4}$$

Keterangan:

d : *Duty cycle*

I_o : Arus keluaran

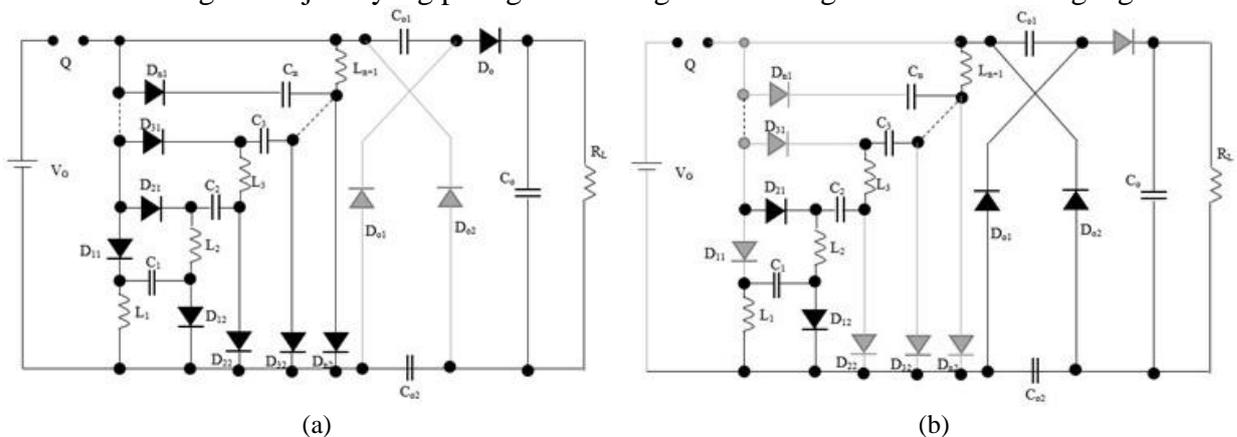
$\Delta V_o \max$: Riak tegangan maksimum yang diinginkan melewati kapasitor

f_s : frekuensi *switching*

Berdasarkan rangkaian *ultra step up converter* selama *interval Ton*, kapasitor $C_1, C_2 \dots C_n$ induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} mengalami kondisi pengisian oleh tegangan sumber. Dengan menonaktifkan diode D_{o1} dan D_{o2} , kapasitor C_{o1} dan C_{o2} mengalami kondisi pengosongan ke beban. Ketika *switch Q* dalam kondisi *open*, maka diode $D_{11}, D_{12} \dots D_{n1}, D_{n2}$ dalam kondisi mati. Kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n dan induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} dalam kondisi seri antara komponen satu dengan lainnya dan akan mengisi kapasitor C_{o1} dan C_{o2} yang terhubung dalam kondisi paralel.

A. *Continuous Conduction Mode Operation*

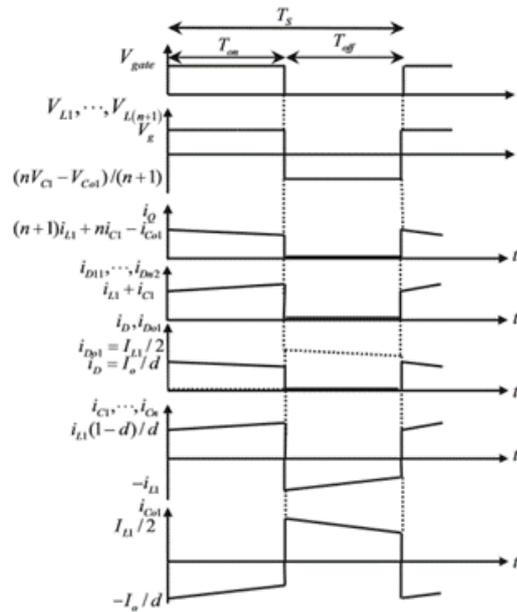
Continuous Conduction Mode merupakan keadaan dimana komponen pensaklaran berada dalam kondisi terhubung (*close*) dan tidak terhubung (*open*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.a. dan Gambar 2.b. Saat konverter dalam keadaan CCM, terdapat beberapa komponen yang mengalami keadaan pengisian dan ada pula yang mengalami pengosongan. Hal tersebut terjadi sesuai dengan diagram pewaktuan yang ditunjukkan pada Gambar 3. Ketika konverter dalam kondisi saklar terhubung atau dalam interval waktu T_{on} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.a., maka tegangan masukan konverter akan disalurkan ke beberapa komponen dan dalam komponen tersebut mengalami pengisian energi. Beberapa komponen itu diantaranya kapasitor C_1 hingga C_n dan induktor L_1 hingga L_n melalui dioda $D_{11}, D_{21}, \dots, D_{n1}$. Kapasitor yang telah terisi penuh akan bersifat open dalam rangkaian sehingga arus tidak mengalir lagi. Sedangkan induktor yang telah terisi penuh akan bersifat close dalam rangkaian sehingga arus akan tetap diteruskan. Arus tidak mengalir ke kapasitor C_{o1}, C_{o2} , dan C_o karena arus akan mengalir ke jalur yang paling dekat dengan kutub negatif dari sumber tegangan.



Gambar 2. (a) Rangkaian pengganti konverter dalam keadaan CCM saat sumber tegangan terhubung
 (b) Rangkaian pengganti konverter dalam keadaan CCM saat sumber tegangan tidak terhubung

Ketika konverter dalam kondisi saklar terbuka atau dalam interval waktu T_{off} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.b., maka tegangan masukan akan terputus dari rangkaian. Kemudian kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n dan induktor L_1, L_2, \dots, L_n akan mengalami kondisi pengosongan dan energi disalurkan ke kapasitor C_{o1} dan C_{o2} sehingga kapasitor tersebut mengalami pengisian. Kemudian ketika memasuki interval waktu T_{on} yang kedua, kapasitor C_1 hingga C_n serta induktor L_1 hingga L_n mengalami pengisian seperti sebelumnya, dan pada C_{o1} dan C_{o2} akan mengalami pengosongan dan disalurkan ke kapasitor C_o sehingga kapasitor tersebut mengalami pengisian. Selain itu, beban juga mendapatkan tegangan hasil dari pengosongan kapasitor C_{o1} dan C_{o2} sebesar total tegangan dari $V_{C_{o1}}$ dan $V_{C_{o2}}$.

Nilai arus *ripple* dari induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} diabaikan pada mode ini. Interval waktu pertama adalah $0 < t < dT_s$ dimana kondisi saklar Q *on*, dan pada interval waktu lainnya adalah $dT_s < t < T_s$ dimana kondisi saklar Q *off*.



Gambar 3. Bentuk Gelombang Converter Saat CCM

Pada interval waktu pertama $\{0 < t < dT_s\}$: saklar Q aktif. Dioda $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{n1}, D_{n2}$ dalam kondisi *forward bias*. Tegangan yang melewati diode D_{o1} , dan D_{o2} adalah [1]:

$$V_{D_{o1}} = V_{D_{o2}} = V_{C_{o1}} - V_o \tag{5}$$

Keterangan:

$V_{D_{o1}}$: Tegangan diode *output* 1

$V_{D_{o2}}$: Tegangan diode *output* 2

$V_{C_{o1}}$: Tegangan kapasitor *output* 1

Sehingga kondisi dari dioda tersebut tidak aktif. Disamping itu, kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n dan induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} akan terangkai paralel dengan tegangan sumber sehingga kapasitor dan induktor mengalami kondisi pengisian. Tegangan yang masuk ke komponen adalah [1]:

$$V_{C1} = V_{C2} = \dots = V_{Cn} = V_g \tag{6}$$

$$V_{L1,1} = V_{L2,1} = \dots = V_{L(n+1),1} = V_g \tag{7}$$

Keterangan:

V_{C1} : Tegangan kapasitor 1

V_{C2} : Tegangan kapasitor 2

$V_{L1,1}$: Tegangan Induktor 1

$V_{L2,1}$: Tegangan Induktor 2

V_g : Tegangan *input*

Berdasarkan hukum kirchoff (KVL), tegangan yang melalui kapasitor C_{o1} dan C_{o2} adalah [1]:

$$V_{C_{o1}} = V_{C_{o2}} = \frac{V_o - V_g}{2} \tag{8}$$

Jika nilai induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} sama, maka besarnya arus yang melauai dioda $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{n1}$, besarnya arus yang melalui masing masing induktor adalah sama. D_{n2} adalah [1]:

$$i_{D_{11}} = i_{L1} + i_{C1,1}$$

$$i_{D_{12}} = i_{L2} + i_{C1,2}$$

$$i_{D_{n1}} = i_{Ln} + i_{Cn,1}$$

$$i_{D_{n2}} = i_{L(n+1)} + i_{Cn,1} \tag{9}$$

Keterangan:

$i_{D_{n1}}$: Arus dioda ke n1

$i_{Cn,1}$: Arus kapasitor ke n1

Berdasarkan Persamaan 9 dan mengasumsikan arus dari kapasitor adalah sama, maka [1]:

$$i_{D11} = i_{D12} = \dots = i_{Dn1} = i_{Dn2} = i_{L1} + i_{C1,1} \tag{10}$$

arus yang melalui saklar Q adalah [1]:

$$i_Q = i_L + i_{D12} + i_{D22} + \dots + i_{Dn2} - i_{Co1,1} \tag{11}$$

Keterangan:

$i_{Co1,1}$: Arus yang melalui kapasitor C_{O1}

Dengan menggabungkan persamaan (9) dan (10), maka diperoleh [1]:

$$i_Q = (n+1)i_{L1} + ni_{C1,1} - i_{Co1,1} \tag{12}$$

Keterangan:

i_Q : Arus input

Interval waktu kedua $\{dT_s < t < Ts\}$: Pada interval ini saklar Q tidak aktif. Berdasarkan gambar (b), dioda $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{n1}, D_{n2}$ juga tidak aktif. Sehingga, kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n dan induktor L_1, L_2, \dots, L_{n+1} akan terhubung seri dengan yang lainnya dan kapasitor C_{o1} dan C_{o2} mengalami kondisi pengisian secara paralel. Arus yang melalui kapasitor C_{o1} & C_{o2} dan dioda D_{o1} & D_{o2} dapat dituliskan sebagai berikut [1]:

$$i_{Co1,2} = i_{Co2,2} = i_{Do1} = i_{Do2} = \frac{i_{L1}}{2} \tag{13}$$

Arus yang mengalir melalui kapasitor C_1, C_2, \dots, C_n , pada interval ini adalah [1]:

$$i_{C1,2} = i_{C2,2} = \dots = i_{Cn,2} = -i_{L1} \tag{14}$$

Tegangan yang melalui induktor dapat dihitung melalui Persamaan 15 [1]:

$$V_{L1,2} = V_{L2,2} = \dots = V_{L(n+1),2} = \frac{nV_{c1} - V_{co1}}{n+1} \tag{15}$$

Tegangan yang melalui $D_{11}, D_{12}, \dots, D_{n1}, D_{n2}$ adalah [1]:

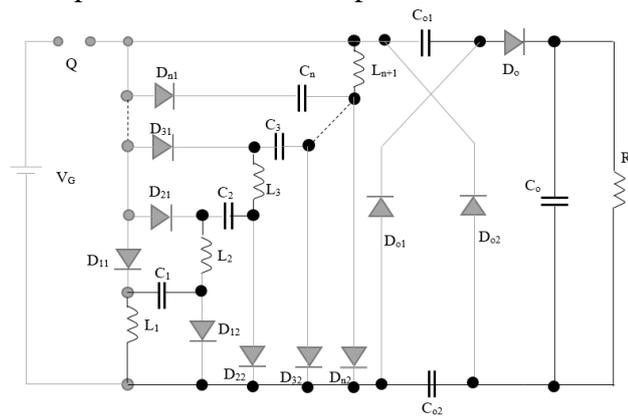
$$V_{D1(i+1)} = V_{D(n-1)2} = \frac{V_g - V_o}{2(n+1)}(n-i), i=0,1,2, \dots, n-1 \tag{16}$$

$$V_D = V_o - V_{Co1} \tag{17}$$

Sehingga membuat kondisi dioda off.

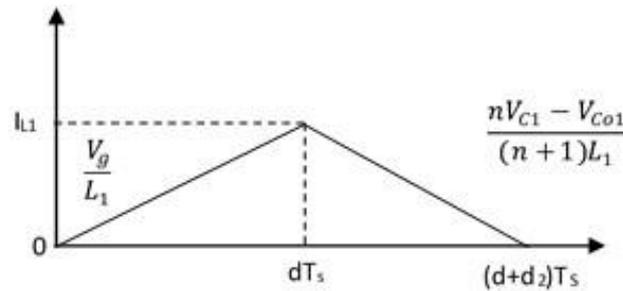
B. Discontinuous Conduction Mode Operation

Rangkaian pengganti dari konverter saat kondisi DCM pada interval waktu ketiga $[(d+d_2)Ts < t < Ts]$ ditunjukkan pada Gambar 4. d_2 adalah waktu normal yang dibutuhkan yang diakhiri dari interval waktu pertama $t_1 < t < t_2$ sampai arus induktor bernilai nol.



Gambar 4. Rangkaian pengganti konverter saat DCM

Arus induktor L_1 (i_{L1}) pada kondisi DCM ditunjukkan pada Gambar 5. Seperti yang terlihat, arus induktor mencapai nol dan akan tetap sampai saklar Q aktif.



Gambar 5. Arus Induktor L_1 (i_{L1}) Saat DCM

Seperti yang telah diketahui bahwa tegangan rata-rata yang melalui induktor L_1 pada satu periode pensaklaran adalah nol, Persamaan 18 untuk mendapatkan nilai d_2 [1]:

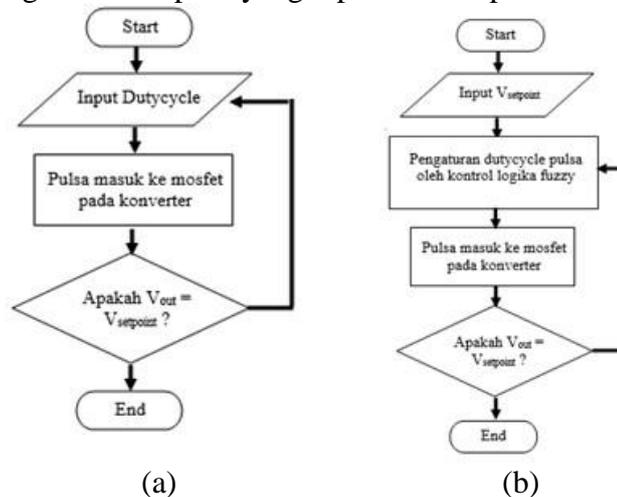
$$d_2 = \frac{2(n+1)dV_g}{V_o - (2n+1)V_g} \tag{18}$$

II. METODE

Pada penelitian ini, penulis melakukan beberapa tahapan sebelum dilakukannya simulasi. Tahapan-tahapan ini berguna untuk melengkapi kebutuhan yang diperlukan pada simulasi. Beberapa tahapan ini meliputi:

- a. Perencanaan *dutycycle* (untuk pengujian *open loop*)
- b. Perencanaan induktor
- c. Perencanaan kapasitor
- d. Perencanaan kontrol logika fuzzy

Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak PSIM. Simulasi dilakukan dengan berdasarkan diagram alir seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6a dan 6b.



Gambar 6. (a) Diagram alir sistem saat *open loop*
(b) Diagram alir sistem saat *close loop*

A. Perancangan *Dutycycle*

Perancangan *dutycycle* bertujuan untuk mengetahui nilai *dutycycle* yang harus disalurkan pada komponen *switching* (MOSFET/IGBT) saat pengujian *open loop*. Besarnya *dutycycle* yang harus disalurkan ke komponen *switching* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 19 [1]:

$$D = \frac{V_o - V_{in}(1+2n)}{V_{in} + V_o} \tag{19}$$

Dimana,

V_O : Tegangan keluaran

V_{in} : Tegangan masukan

n : *stage* yang digunakan pada konverter

Dalam penelitian ini, penulis menginginkan tegangan keluaran sebesar 311 VDC dan tegangan masukan sebesar 48 VDC. Sedangkan *stage* yang digunakan adalah *stage* 1 dengan banyaknya komponen induktor dua buah dan kapasitor satu buah pada sisi masukan.

Dengan memasukkan semua parameter yang telah disebutkan ke dalam rumus, maka diperoleh nilai *duty cycle* sebesar:

$$D = \frac{V_O - V_{in}(1+2n)}{V_{in} + V_O} \quad (20)$$

$$D = \frac{311 - 48(1+2(1))}{48 + 311}$$

$$D = 0,465 \rightarrow D = 46,5\%$$

Maka untuk mendapatkan tegangan keluaran sebesar 311 VDC dengan tegangan masukan 48 VDC dan *stage* yang digunakan adalah 1 *stage*, dibutuhkan *duty cycle* sebesar 46,5%

B. Perancangan Induktor

Perhitungan induktor bertujuan untuk mendesain besarnya induktor yang akan digunakan dalam konverter agar diperoleh tegangan dan arus keluaran sesuai dengan yang diinginkan. Besarnya induktor L_1 dan L_2 adalah sama. Nilai induktor diperoleh dari rumus berikut [1]:

$$L_{min} = \frac{V_{odd}^2}{4f_s I_o (2n+1+d)} \quad (21)$$

Dimana,

d : *duty cycle*

d^2 : 1-d (hasil pengurangan 1 dengan *duty cycle*)

f_s : frekuensi *switching*

Dengan memasukkan semua parameter yang telah disebutkan ke dalam rumus, maka diperoleh nilai induktor sebesar [1]:

$$L_{min} = \frac{V_{odd}^2}{4f_s I_o (2n+1+d)} \quad (22)$$

$$L_{min} = \frac{311 \times 0,465 \times (1 - 0,465)^2}{4 \times 40000 \times 7 \times (2(1) + 1 + 0,465)}$$

$$L_{min} = 10,665 \mu H$$

$$\text{Dimana } L_1 = L_2 = 10,665 \mu H.$$

C. Perancangan Kapasitor

Perancangan kapasitor ini terbagi menjadi dua, yaitu kapasitor masukan dan kapasitor keluaran. Perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kapasitor yang diperlukan untuk memperoleh tegangan keluaran sesuai dengan yang diinginkan. Besarnya nilai kapasitansi dari kapasitor diperoleh dengan menggunakan rumus berikut [1]:

$$C_1 = \frac{2V_o}{|\Delta V_{Cmax}| R_L f_s} \quad (23)$$

Dimana,

C_1 : Kapasitansi kapasitor sisi masukan

ΔV_{Cmax} : Spike tegangan yang diizinkan sisi masukan

R_L : Resistansi Beban

Desain kapasitor pada setiap tingkatan:

$$C_1 = \frac{2V_o}{|\Delta V_{C_{max}}| R_L f_s} \quad (24)$$

$$C_1 = \frac{2 \times 311}{(0,2\% \times 48) \times 38,875 \times 40000}$$

$$C_1 = 4166 \mu\text{F}$$

$$\text{Dimana } C_1 = C_{o1} = C_{o2} = 4166 \mu\text{F}$$

Dalam penelitian ini, penulis menginginkan tegangan keluaran sebesar 311 VDC dan spike tegangan yang diizinkan adalah 0,1% dari tegangan masukan. Sedangkan resistansi dari beban agar diperoleh arus 7 A adalah 38.875.

Sedangkan untuk kapasitor sisi keluaran dapat diperoleh dari rumus berikut:

$$C_o = \frac{dI_o}{\Delta V_o f_s} \quad (25)$$

Dimana,

C_o : Kapasitansi kapasitor *output*

d : *dutycycle*

I_o : Arus *output*

ΔV_o : Spike tegangan *output* yang diizinkan

Desain filter kapasitor pada sisi keluaran:

$$C_o = \frac{dI_o}{\Delta V_o f_s} \quad (26)$$

$$C_o = \frac{0,465 \times 7}{0,1\% \times 311 \times 40000}$$

$$C_o = 261,65 \mu\text{F}$$

D. Perancangan Kontrol Logika Fuzzy

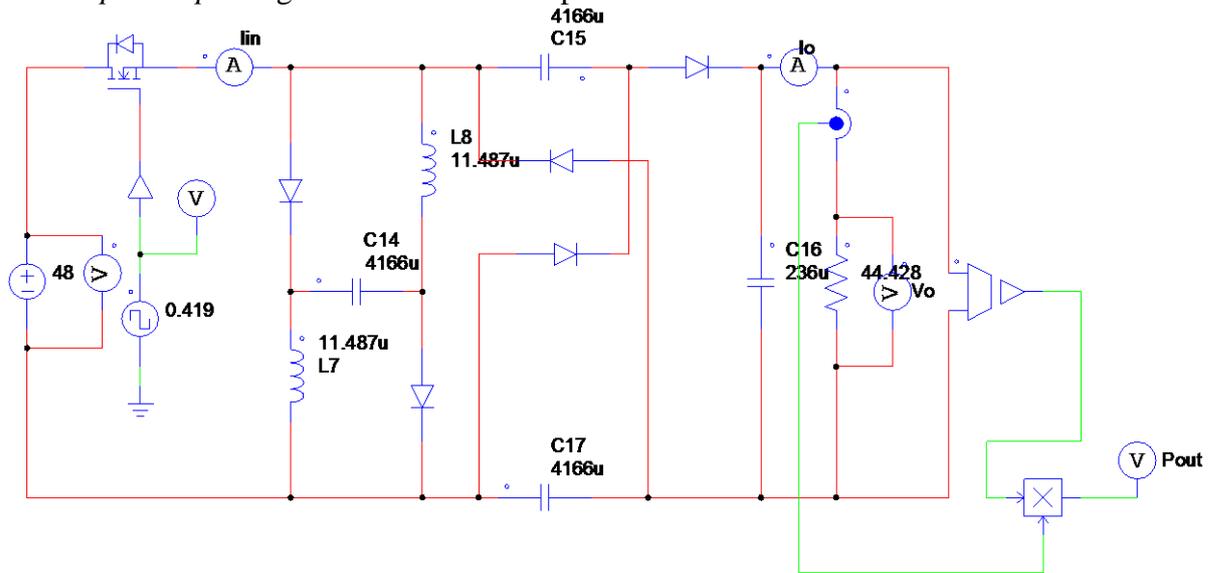
Perancangan kontrol ini bertujuan untuk membuat sebuah kontrol yang mampu menghasilkan tegangan keluaran yang konstan meskipun terdapat gangguan pada sistem. Kontrol ini memanfaatkan hasil pembacaan tegangan keluaran sebagai *feedback* dari kontrol logika fuzzy untuk dijadikan parameter dalam menentukan besarnya *dutycycle* yang dikeluarkan oleh rangkaian pembangkit pulsa. Kontrol logika fuzzy yang digunakan adalah jenis kontrol logika fuzzy sugeno.

Perancangan dimulai dari tahap fuzzyfikasi. *Input* fuzzy berupa tegangan keluaran konverter diproses menjadi variabel *error* (E) dan delta *error* (ΔE). *Error* merupakan selisih antara nilai setpoint dengan tegangan keluaran saat ini. Sedangkan delta *error* adalah selisih antara *error* saat ini dengan *error* sebelumnya. Pada variabel *error* penulis menggunakan 7 membership function yaitu negative big (ENB), negative medium (ENM), negative small (ENS), zero (EZ), positive small (EPS), positive medium (EPM), dan positive big (EPB). Pada variabel delta *error*, penulis juga menggunakan 7 membership function yaitu DNB, DNM, DNS, DZ, DPS, DPM, dan DPB. Pada variabel *error* menggunakan range dari -300 hingga 300. Sedangkan pada delta *error* menggunakan dua kali dari *error* yaitu -600 hingga 600.

Pada sisi keluaran penulis menggunakan 9 buah membership function yaitu ONH, ONB, ONM, ONS, OZ, OPS, OPM, OPB. ONH memiliki nilai -0,003, ONB memiliki nilai -0,002, ONM memiliki nilai -0,001, ONS memiliki nilai -0,0005, OZ memiliki nilai 0, OPS memiliki nilai 0,0005, OPM memiliki nilai 0,001, OPB memiliki nilai 0,002, dan OPH memiliki nilai 0,003.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah semua parameter dimasukkan termasuk besarnya nilai komponen-komponen yang digunakan dan kontrol logika fuzzy, maka penulis melakukan simulasi dengan menggunakan PSIM. Simulasi dilakukan dua kali yaitu simulasi dengan keadaan *open loop* dan simulasi dengan keadaan *close loop*. Simulasi dengan keadaan *open loop* akan menggunakan sinyal *dutycycle* murni dari rangkaian pembangkit pulsa tanpa menggunakan kontrol logika fuzzy. Sedangkan simulasi dengan keadaan *close loop* akan menggunakan sinyal *dutycycle* dari rangkaian pembangkit pulsa yang besarnya diatur oleh kontrol logika fuzzy. Simulasi sistem secara *open loop* menghasilkan data-data seperti berikut:



Gambar 7. Rangkaian Ultra Step Up DC to DC Converter Secara Open Loop

TABEL 1. DATA HASIL PERCOBAAN SAAT OPEN LOOP

V_{in} (V)	<i>Dutycycle</i> (%)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	Daya (W)
48	0,1	176,93	4,55	845,45
	0,2	217,81	5,6	1276,17
	0,3	269,47	6,93	1944,41
	0,419	339,42	8,73	3108,23
	0,5	394,55	10,14	4268,1
	0,6	490,18	12,61	6731,26

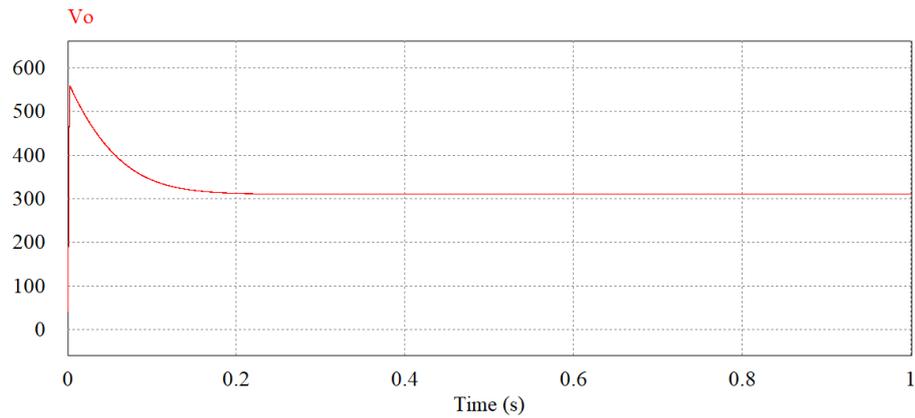
Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa dengan *dutycycle* yang telah diperoleh dari perhitungan ternyata menghasilkan tegangan pada sisi keluaran konverter sebesar 339,4 VDC dengan arus sebesar 8,731 A dan daya sebesar 3108,23 Watt. Terdapat *error* yang terjadi antara perhitungan dengan simulasi. *Error* yang terjadi sebesar [1]:

$$\%Error = \left| \frac{V_{out\ teori} - V_{out\ simulasi}}{V_{out\ teori}} \right| \times 100\% \tag{27}$$

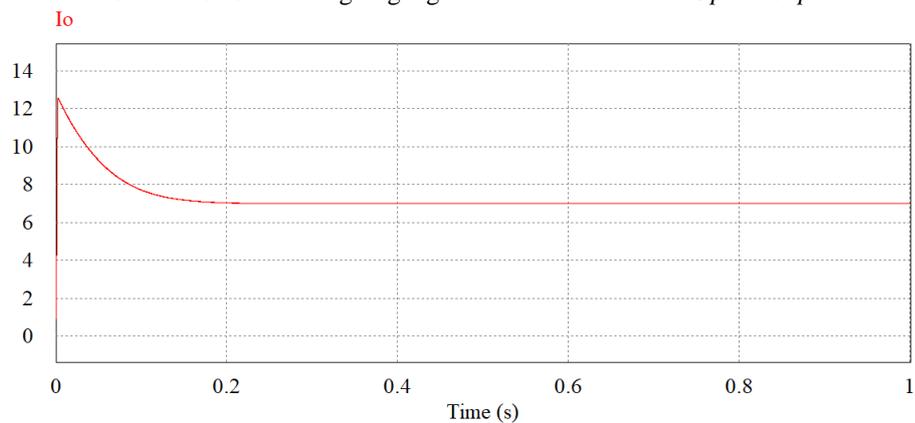
$$\%Error = \left| \frac{311 - 339,4}{311} \right| \times 100\%$$

$$\%Error = 9,131\%$$

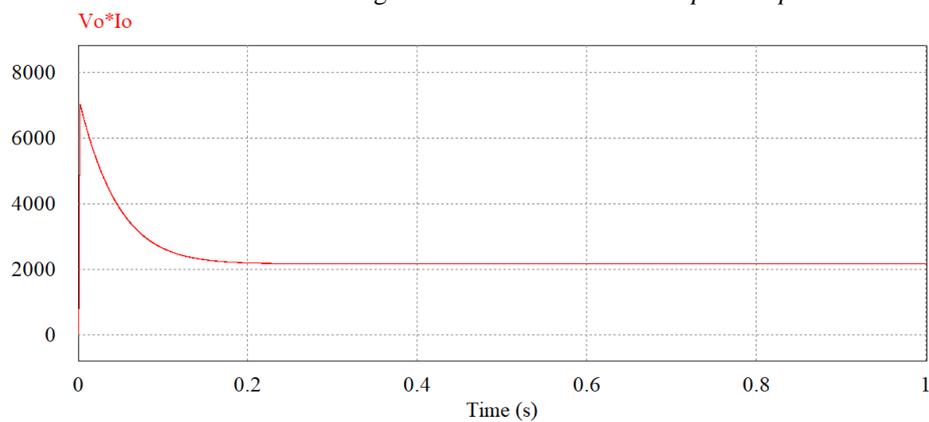
Gambar 8-10 merupakan gelombang tegangan, arus, dan daya keluaran dari konverter.



Gambar 8. Gelombang Tegangan Keluaran Konverter *Open Loop*

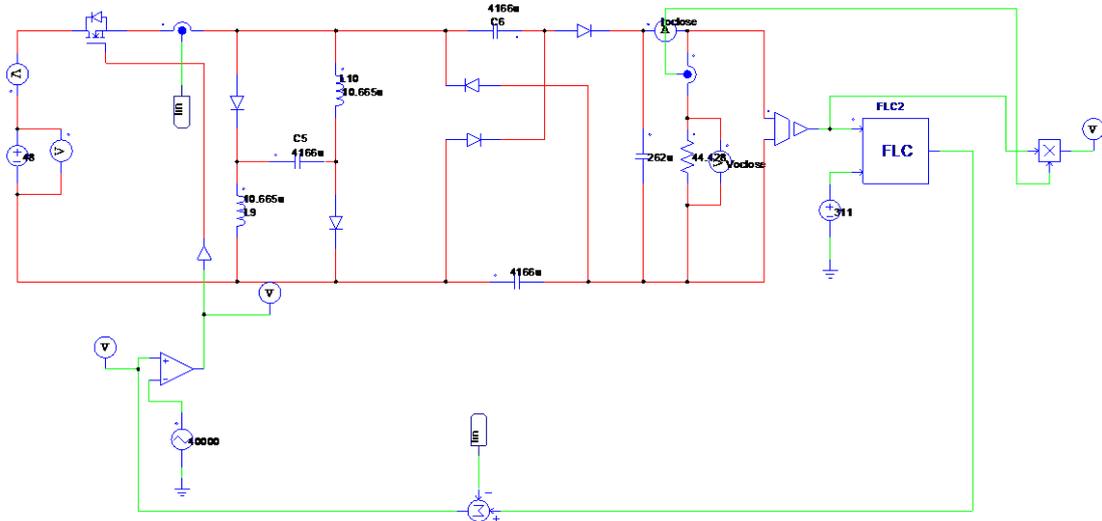


Gambar 9. Gelombang Arus Keluaran Konverter *Open Loop*



Gambar 10. Daya Keluaran *Open Loop*

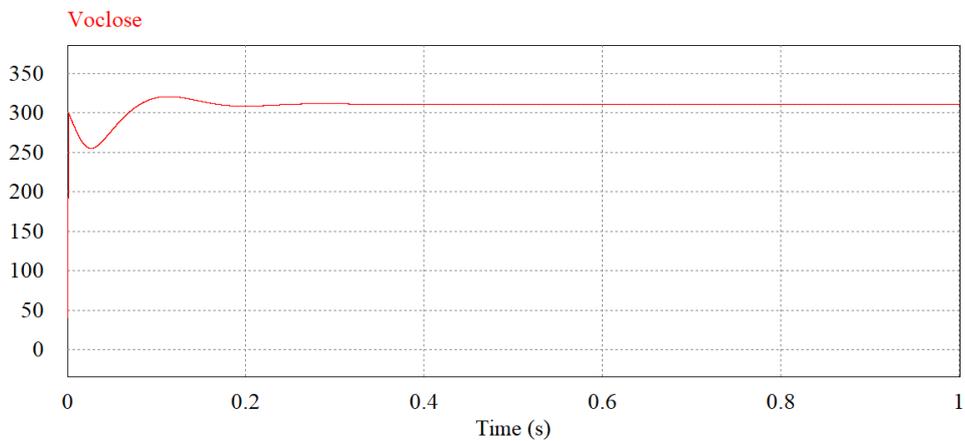
Simulasi *close loop* dilakukan dengan menggunakan beberapa tegangan *input* yang berbeda-beda. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berhasil atau tidaknya kontrol fuzzy yang telah dibuat. Variasi sumber tegangan yang digunakan diantaranya 40 VDC, 45 VDC, 48 VDC, 50 VDC, dan 55 VDC. Setpoint yang diatur pada kontrol logika fuzzy adalah 311 VDC. Gambar 11 merupakan hasil simulasi dari sistem yang telah dibuat secara *close loop*.



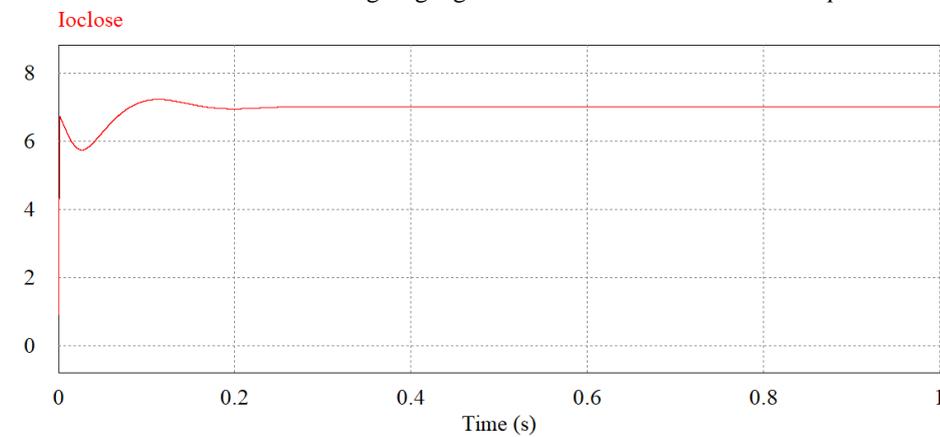
Gambar 11. Rangkaian Simulasi *Ultra Step Up DC to DC Converter Secara Close Loop*

TABEL 2. DATA HASIL SIMULASI SISTEM SECARA *CLOSE LOOP*

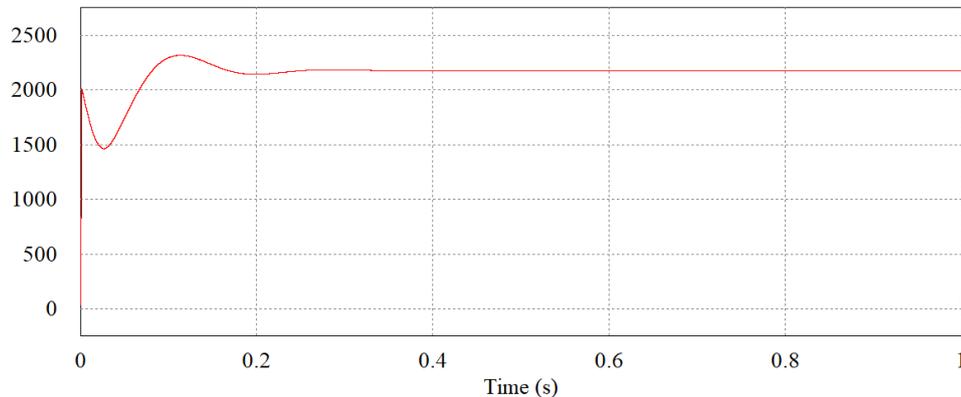
V_{in} (V)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (W)	<i>Error</i> (%)
40	308,81	7,943	2452,87	0,704
45	309,14	7,952	2458,28	0,598
48	309,32	7,957	2465,56	0,54
50	309,46	7,96	2467,3	0,495
55	309,78	7,968	2473,15	0,392



Gambar 12. Gelombang Tegangan Keluaran Konverter *Close Loop*



Gambar 13. Gelombang Arus Keluaran Konverter *Close loop*
 $V_{oclose} * I_{oclose}$



Gambar 14. Daya Keluaran Konverter *Close Loop*

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh, terlihat bahwa konverter ini mampu bekerja menghasilkan tegangan mendekati setpoint yang telah diatur yaitu 311 VDC konstan menggunakan kontrol logika fuzzy. Arus keluaran dari konverter saat tegangan sumber 48 VDC adalah 7,957 A dan daya keluaran adalah 2465,56 W. Ketika sumber tegangan DC diubah ternyata respon dari kontrol adalah mengondisikan agar tegangan keluaran dari konverter sesuai dengan setpoint terlebih dahulu kemudian dikonstantakan. *Error* yang terjadi terbesar adalah 0,704 % saat tegangan sumber 40 VDC.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisa pada bab sebelumnya, dapat penulis simpulkan bahwa konverter *ultra step up DC to DC converter* mampu menghasilkan tegangan *output* sebesar 311 VDC dengan tegangan masukan sebesar 48 VDC secara konstan. Konverter ini mampu digunakan untuk beban sebesar 2456,56 Watt. Konstannya tegangan keluaran dipengaruhi oleh kontrol logika fuzzy yang mengatur lebar pulsa dari rangkaian pembangkit pulsa. Kontrol logika fuzzy menggunakan dua buah *input* berupa *feedback* tegangan keluaran dan setpoint yang telah diatur pada tegangan keluaran. Besarnya *error* yang terjadi pada tegangan keluaran sebesar 0,54% saat tegangan masukan 48 VDC dan *error* terbesar terjadi pada saat tegangan masukan 40 VDC yaitu 0,704%.

REFERENSI

- [1] Tohid, H., Babaei, E., and Hosseini, S.H. *A Generalized Ultra Step up DC to DC Converter for High Voltage Application with Design Considerations*, Electric Power Systems Research. 2013; 105: pp. 71-84.
- [2] Da Costa, A. E. L., and Andersen, R. L. *High-gain Boost-Boost-Flyback Converter for Renewable Energy Sources Applications*. 2015 IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC), Fortaleza, 2015: pp. 1-6.
- [3] Nguyen, A. D., Lai, J. J., and Chiu, H. *Analysis and Implementation of a New Non-isolated High-Voltage-Gain Boost Converter*. 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Baltimore, MD, USA, 2019: pp. 1251-1255.

- [4] Siwakoti, Y. P., Blaabjerg, F., and Loh, P. C. *Ultra-step-up DC-DC Converter with Integrated Autotransformer and Coupled Inductor*. 2016 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Long Beach, CA, 2016: pp. 1872-1877.
- [5] Rachmatdianto, A. Rancang Bangun *Ultra Step up Converter Berbasis Fuzzy Logic Controller*”, Surabaya, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. 2019
- [6] Jaya, A., Murdianto, F. D., Purwanto, E., and Rachmatdianto, A. *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.