

# IMPLEMENTASI PENGONTROLAN TEGANGAN KELUARAN DC STEP UP QUADRATIC BOOST CONVERTER DENGAN VARIASI TEGANGAN INPUT DARI SINGLE PV MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY

Irwan Mahmudi<sup>1)</sup>, Jumiayatun<sup>2)</sup>, Kadri<sup>3)</sup>

<sup>1,2)</sup>Dosen Teknik Elektro Universitas Tadulako

<sup>1)</sup>E-mail : irwan.mahmudi@untad.ac.id, <sup>2)</sup>E-mail : jum@untad.ac.id

<sup>3)</sup>Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

<sup>3)</sup>E-mail : Kadrisherpa@gmail.com

## Abstract

Resulting output voltage is not constant due to light intensity and surface temperature of the solar panels. To overcome the output voltage of solar panels that tends to fluctuate, is to add a DC-DC converter to the output side of the DC-DC Converter used in this study is the Quadratic Boost Converter type which has a role to increase the output voltage of the monocrystalline type solar panel so that it remains constant at 24V DC. using Mamdani Fuzzy Logic Control as a method of controlling PWM switching.

The results obtained from this study are that the quadratic boost converter can keep the output voltage of the solar panel constant at 24V, with low ripple voltage and overshoot. The Mamdani fuzzy logic method used can produce a constant output voltage value with a rise time of  $\pm 5$  seconds. The efficiency obtained from this converter hardware is quite good, ranging from 76% - 88%.

**Keywords:** *Solar Panel, Quadratic boost converter, fuzzy logic control, PWM.*

## I. PENDAHULUAN

Energi yang dikeluarkan oleh sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran matahari, seperti terlihat pada Gambar 1.1 Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat luar biasa besarnya, yaitu mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule per tahun, energi ini setara dengan  $2 \times 10$  watt.

Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Dengan kata lain, dengan menutup 0,1% saja permukaan bumi dengan sel surya yang memiliki efisiensi 10% sudah bisa didapatkan energi yang sama dengan konsumsi energi di seluruh dunia.[1]

Sel surya atau *Photo Voltaic* merupakan suatu alat yang dapat merubah energy matahari ke energi listrik dalam bentuk arus searah atau *Direct Current (DC)*. Beberapa keuntungan yang dimiliki oleh alat ini diantaranya yaitu biaya perawatan yang relatif rendah, ramah lingkungan, serta tegangan keluaran yang tidak menghasilkan noise. Salah satu kekurangan yang dimiliki alat ini yaitu efisiensi alat ini yang tergolong rendah dikarenakan kemampuan untuk menghasilkan daya tergantung oleh perubahan intensitas cahaya yang diterimanya. Terdapat suatu cara untuk memperbaiki efisiensi dari alat ini, yaitu menggunakan *DC-DC converter* tipe *Quadratic Boost*.

*Quadratic Boost Converter* adalah rangkaian yang mampu menaikkan atau menurunkan tegangan output terhadap tegangan inputnya. Jenis converter ini merupakan salah satu pengembangan dari *Boost Converter*. *Fuzzy Logic* adalah metodologi sistem kontrol pemecahan masalah yang cocok untuk diimplementasikan pada sistem. Pada

penelitian ini logika fuzzy digunakan untuk menjaga tegangan yang dihasilkan PV, dapat konstan pada nilai yang telah ditentukan meskipun dengan *input PV* yang fluktuatif.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

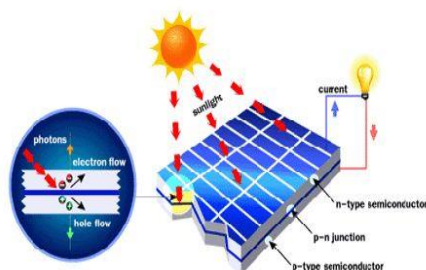
Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

**Tabel 1.** Daftar Alat dan Bahan

| NO | Nama Komponen       | Tipe                             | Jumlah |
|----|---------------------|----------------------------------|--------|
| 1  | Panel Surya         | Monocrytallin                    | 1      |
| 2  | Rangkaian Converter | <i>Quadratic Boost Converter</i> | 1      |
| 3  | Minimum System      | ATMega16                         | 1      |
| 4  | Alat Ukur           | Multimeter                       | 4      |
| 5  | Power Supply        |                                  | 1      |

### 2.2 Panel Surya

Menurut Julisman, Sara, dan Siregar t.t. Panel Surya adalah alat konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Untuk memanfaatkan potensi energi surya ada dua macam teknologi yang sudah diterapkan, yaitu energi surya fotovoltaik dan energi surya termal



**Gambar 1.2** Cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction

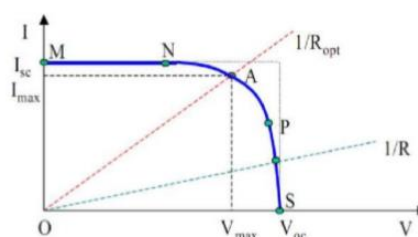
Dari ilustrasi diatas menunjukan cara kerja panel surya dengan prinsip p-n

junction. Sel surya konvensional bekerja menggunakan prinsip p-n junction, yaitu junction antara semikonduktor tipe-p dan tipe-n.

Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n terkontak, maka kelebihan elektron akan bergerak dari semikonduktor tipe-n ke tipe-p sehingga membentuk kutub positif pada semikonduktor tipe-n, dan sebaliknya kutub negatif pada semikonduktor tipe-p. Akibat dari aliran elektron dan hole ini maka terbentuk medan listrik yang mana ketika cahaya matahari mengenai susuna p-n junction ini maka akan mendorong elektron bergerak dari semikonduktor menuju kontak negatif, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai listrik, dan sebaliknya *hole* bergerak menuju kontak positif menunggu elektron datang, seperti diilustrasikan pada gambar 1.2.

#### 2.1.1 Karakteristik Sel Surya

Sel surya adalah sebuah alat non-linear, sehingga untuk memahami karakteristiknya digunakan suatu grafik. Sifat elektrik dari sel surya dalam menghasilkan energi listrik dapat diamati dari karakteristik sel tersebut, yaitu berdasarkan arus dan tegangan yang dihasilkan sel surya pada kondisi cahaya dan beban yang berbeda-beda. Karakteristik panel surya terdiri dari kurva arus tegangan dan kurva daya-tegangan.



**Gambar 1.3** Kurva Arus-Tegangan

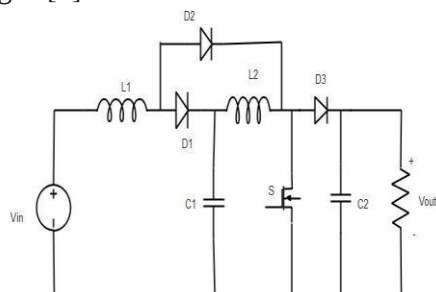
Gambar 1.3 menunjukkan ketika sel dihubungkan dengan beban ( $R$ ). Beban memberi hambatan sebagai garis linear dengan garis  $I/V = I/R$ . Hal tersebut menunjukkan daya yang didapat bergantung pada nilai resistansi. Jika  $R$  kecil maka sel

beroperasi pada daerah kurva MN, dimana sel beroperasi sebagai sumber arus yang konstan atau arus short circuit ( $I_{sc}$ ). Pada sisi lain jika R besar, sel beroperasi pada daerah PS, dimana sel beroperasi sebagai sumber tegangan yang konstan atau tegangan open circuit ( $V_{oc}$ ). Jika dihubungkan dengan hambatan optimal  $R_{opt}$  berarti sel surya menghasilkan daya maksimal dengan tegangan maksimum ( $V_{max}$ ) dan arus maksimum ( $I_{max}$ ).[2]

### 2.3 Quadratic Boost converter

DC to DC Power Converter adalah converter daya yang mengubah daya dengan input DC menjadi output DC. DC to DC power converter biasanya digunakan untuk tujuan menurunkan atau menaikkan tegangan dan atau arus keluarannya.[3]

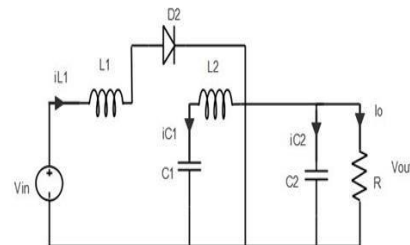
Konverter penguat kuadrat dengan satu sakelar ditunjukkan pada Gambar 2.1. Di mana  $V_{in}$  adalah tegangan input,  $V_{out}$  output tegangan dan S merupakan saklar independen. Model ini biasanya membutuhkan saklar aktif dan pasif yang akan muncul berpasangan dan untuk membentuk jaringan tiga terminal. Namun metodologi ini dapat dikembangkan untuk analisis kuadrat konverter dengan satu sakelar, yang berisi saklar aktif dan tiga saklar pasif. Jadi, dioda D2 dan saklar transistor S diganti oleh sumber arus yang sesuai, dan dioda D1 dan D3 oleh sumber tegangan.[4]



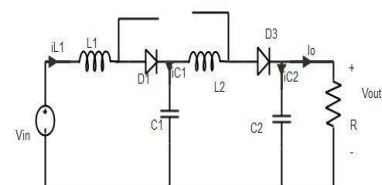
Gambar 1.4 Rangkaian Quadratic Boost Converter

#### 2.2.1 Analisis Quadratic Boost Converter

Operasi sirkuit didasarkan pada asumsi bahwa sakelar S sangat ideal dalam pengoperasian, dan kapasitor C1 dan C2 diambil sebagai nilai yang besar sehingga tegangan melintasi kapasitor VC1 dan VC2 hampir konstan selama periode *switching*. Ketika saklar S dihidupkan D2 bias maju, sedangkan D1 dan D3 bias mundur. Arus dipasok ke L1 dan L2 oleh  $V_{in}$  dan C1. Mode 1 sirkuit konverter boost kuadrat seperti Gambar 1.5. Dalam kondisi ini D1 dan D3 bias maju, sedangkan D2 mengalami bias mundur. L1 dan L2 sedang mengisi daya C1 dan C2. Selama keadaan ini,  $i_{L1}$  dan  $i_{L2}$  menurun. Mode 2 sirkuit konverter boost kuadrat dapat dilihat pada gambar 1.6.



Gambar 1.5 Kondisi Saklar On



Gambar 1.6 Kondisi Saklar Off

Bebapa persamaan berikut, merupakan persamaan yang dibutuhkan dalam menentukan nilai dari masing-masing komponen yang terdapat pada rangkaian *quadratic boost converter*. [5]

$$V_o = \frac{VS}{(1 - \delta)^2}$$

$$L_1 = \frac{\delta VS}{Fs \cdot \Delta I_{L1}}$$

$$I_{L1} = \frac{I_o}{(1 - \delta)^2}$$

$$L_2 = \frac{\delta VS}{Fs \cdot \Delta I_{L2}}$$

$$I_{L2} = \frac{I_o}{(1 - \delta)}$$

$$C_1 = \frac{\delta \cdot I_o}{(1 - \delta) \Delta V_{C1} \cdot F_s}$$

$$VC_1 = \frac{VS}{(1 - \delta)}$$

$$C_2 = \frac{\delta \cdot I_o}{\Delta V_{C2} \cdot F_s}$$

$$VC_2 = \frac{V_{C1}}{(1 - \delta)} \quad [4]$$

## 2.4 Algoritma Fuzzy

Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Professor Lotfi A. Zadeh dari Universitas California, pada bulan Juni 1965. *Fuzzy* secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar – samar. Derajat keanggotaan dalam *fuzzy* memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1(satu). Hal ini berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1 atau 0 (ya atau tidak).

Logika *fuzzy* digunakan untuk menterjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (linguistik), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat, dan sangat cepat. Logika *fuzzy* menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah. Tidak seperti logika tegas, suatu nilai hanya mempunyai 2 kemungkinan yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak. Derajat keanggotaan 0 (nol) artinya nilai bukan merupakan anggota himpunan dan 1 (satu) berarti nilai tersebut adalah anggota himpunan. Dalam logika *fuzzy* terdapat 4 unit pertama sebagai konfigurasi dasar, yaitu:

1. Unit fuzzifikasi.
2. Unit penalaran logika *fuzzy*.
3. Unit basis pengetahuan, yang terdiri atas basis data (memuat fungsi-fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* terkait dengan nilai variable yang dipakai) dan basis aturan (yang memuat aturan-aturan berupa implikasi *fuzzy*).
4. Unit defuzzifikasi (penegasan).

Metode yang digunakan dalam unit pengambilan keputusan adalah metode

Mamdani atau yang dikenal juga dengan sebutan metode *min-max*. Proses untuk mendapatkan *output* diperlukan empat tahap, yaitu :

### 1. Fuzzifikasi

Merupakan proses awal dalam metode Mamdani proses ini berfungsi untuk mengkonversi nilai himpunan tegas ke dalam nilai masukan *fuzzy*. Nilai masukan tegas dimasukkan ke dalam fungsi pengaburan yang telah dibentuk sehingga menghasilkan nilai masukan *fuzzy*.

### 2. Pembentukan Aturan Fuzzy

Aturan *fuzzy* dibentuk untuk memperoleh hasil keluaran tegas. Aturan *fuzzy* yang digunakan adalah aturan “*IF-THAN*” dengan operator antar variabel masukan adalah operator “*AND*”. Pernyataan yang mengikuti “*IF*” disebut sebagai antiseden dan pernyataan yang mengikuti maka “disebut sebagai konsekuensi”.

Jika ( $a_1$  adalah  $A_1$ )  $\cap \dots \cap$  ( $a_n$  adalah  $A_n$ )  
maka (b adalah k)

Dengan :

$a_1, \dots, a_n$ : Variabel *input*

$b$  : Variabel *output*

( $a_1$  adalah  $A_1$ )  $\cap \dots \cap$  ( $a_n$  adalah  $A_n$ ):  
antiseden

(b adalah k) : konsekuensi

### 3. Analisis Logika Fuzzy

Setiap aturan yang dibentuk merupakan suatu pernyataan implikasi. Analisis logika *fuzzy* yang digunakan pada tahap ini adalah fungsi implikasi min, karena operator yang digunakan pada aturan “*IF-THAN*” adalah operator “*AND*”. Fungsi implikasi min yaitu mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada *fuzzy* yang bersangkutan. Hasil fungsi implikasi dari masing-masing aturan disebut  $\alpha$ -predikat atau biasa ditulis  $\alpha$ .

$$\alpha_i = \mu_{A \cap B} = \min(\mu_{A_i}(x), \mu_{A_i}(y)),$$

Dengan :

$\alpha_i$  : nilai minimal dari derajat keanggotaan pada aturan ke-i

$\mu_{A_i}$  : derajat keanggotaan himpunan fuzzy A pada aturan ke-i

$\mu_{A_i}(y)$  : derajat keanggotaan himpunan fuzzy B pada aturan ke-i

Selanjutnya dengan metode max dilakukan inferensi system fuzzy, yaitu komposisi antar aturan. Komposisi aturan merupakan kesimpulan secara keseluruhan dengan mengambil tingkat keanggotaan maksimum dari tiap konsekuen aplikasi fungsi implikasi dan menggabungkan dari semua kesimpulan masing-masing aturan, sehingga didapat daerah solusi fuzzy sebagai berikut :

$$\mu_{sf}[x_i] = \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i])$$

dengan :

$\mu_{sf}[x_i]$  : nilai keanggotaan solusi fuzzy sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}[x_i]$  : nilai keanggotaan konsekuen fuzzy sampai aturan ke -i.

#### 4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan metode untuk memetakan nilai dari himpunan fuzzy ke dalam nilai crisp. Masukan proses defuzzifikasi adalah himpunan fuzzy.[6] Terdapat beberapa metode dalam defuzzifikasi, antara lain:

- Metode Centroid, metode ini penyelesaian crisp diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (Z) daerah fuzzy, yaitu dengan rumus :

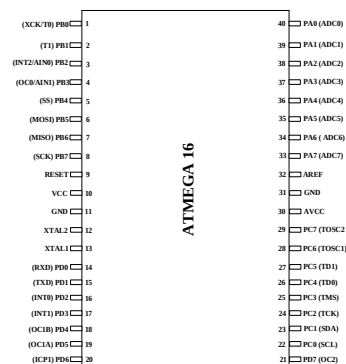
$$Z = \frac{\int \mu(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu(z) \cdot dz}$$

- Metode Bisector, metode ini penyelesaian crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan separuh dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy.
- Metode Mean of Maximum (MOM). Metode ini penyelesaian crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar pada domain fuzzy yang memiliki nilai maximum.

- Metode Smallest of Maximum (SOM), metode ini penyelesaian crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil pada domain fuzzy yang memiliki nilai maximum.

## 2.5 ATmega16

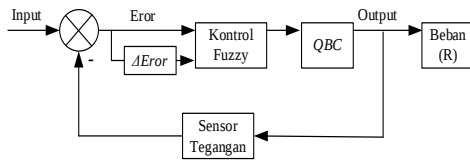
ATmega16 merupakan mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel keluarga AVR. AVR mempunyai 32 register general-purpose, timer/counter dengan metode compare, interrupt eksternal dan internal, serial UART, programmable Watchdog Timer, ADC dan PWM internal. ATmega 16 akan digunakan sebagai rangkaian driver untuk PWM dalam mengatur duty cycle. [6]



Gambar 1.7 Konfigurasi PIN ATmega 16

## 2.6 Cara Penelitian

Cara dalam melakukan penelitian ini, meliputi beberapa Langkah, agar penelitian terstruktur dan implementasinya sesuai dengan rencana. Langkah-langkah yang dilakukan meliputi, mencari referensi yang terkait dengan judul, pengambilan data PV, mendesain, menghitung, mensimulasikan rangkain. Setelah itu, mengimplementasikan hasil simulasi, kemudian menguji rangkaian, pada beberapa variasi pengujian, kemudian mengambil data yang diperlukan pada penelitian ini. Berikut merupakan digram blok system yang dibutuhkan dalam merancang quadratic boost converter.



**Gambar 2.1** Diagram Blok Rangkaian

Tabel 2.1 merupakan desain parameter dan komponen yang akan digunakan dalam merancang *Quadratic Boost Converter*.

**Tabel 2.1** Desain Komponen *Quadratic Boost Converter*

| No | Parameter/komponen | Nilai      |
|----|--------------------|------------|
| 1  | Vout               | 24V        |
| 2  | Vin                | 17V        |
| 3  | Iout               | 3.33A      |
| 4  | Frekuensi          | 47.kHz     |
| 5  | Duty               | 15%        |
| 6  | L1                 | 59 $\mu$ H |
| 7  | L2                 | 82 $\mu$ H |
| 8  | C1                 | 30 $\mu$ F |
| 9  | C2                 | 18 $\mu$ F |

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Penelitian

Dari penelitian yang berjudul Implementasi Pengontrolan Tegangan Keluaran *DC Step-Up Quadratic Boost Converter* dengan Variasi Tegangan Input Dari Single PV Menggunakan Logika Fuzzy, maka penulis dapat menyajikan dalam bentuk alat, data, maupun Analisa Data.

Berikut Hasil Persancangan dan penelitian yang telah dilakukan.

#### 3.2 Hasil Penelitian

Pengujian dilakukan untuk melihat persentase keberhasilan alat yang dibuat, ukuran keberhasilan alat dilihat dari seberapa sesuai alat yang dibuat dengan yang telah direncanakan. Pada penelitian ini, pengujian alat dilakukan dalam tiga tahapan, yaitu tahap simulasi rangkaian, tahap

pengujian *Hardware* menggunakan *input power supply*, dan *input PV*. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan kurva.

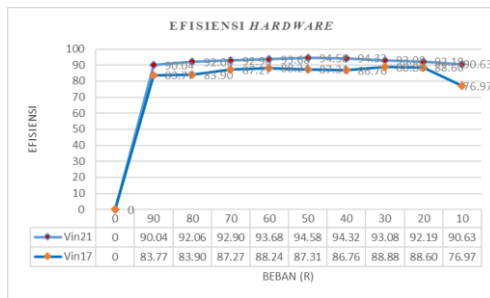
Berikut merupakan data hasil pengujian perbandingan nilai Vout antara simulasi dan *hardware* yang diuji secara *close loop*. Keduanya di uji pada tegangan 5-21V yang dinaikkan secara bertahap untuk mencapai nilai Vout yang konstan pada 24V. pada pengujian *close loop duty cycle* menyesuaikan secara otomatis menggunakan program *fuzzy*. Beban yang digunakan adalah tahanan geser yang dibuat konstan pada nilai 50 $\Omega$ .

**Tabel 3.1** Perbandingan Vout *close loop* simulasi dan *hardware*

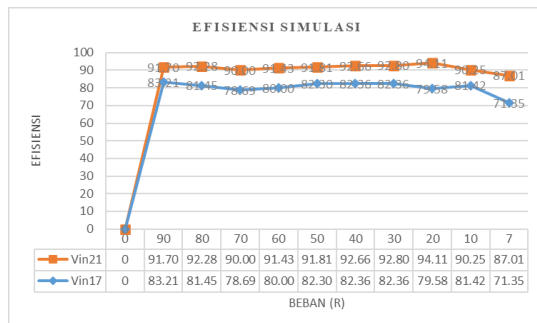
| No | Vout              |                 |
|----|-------------------|-----------------|
|    | simulasi          | <i>hardware</i> |
|    | <i>close loop</i> |                 |
| V  | V                 | V               |
| 0  | 0                 | 0               |
| 5  | 23.7              | 24              |
| 7  | 24                | 24.1            |
| 9  | 24.1              | 24.1            |
| 11 | 23.9              | 24              |
| 13 | 24.1              | 24.1            |
| 15 | 24                | 24              |
| 17 | 24                | 24              |
| 19 | 24                | 24              |
| 21 | 24                | 24              |

Dapat dilihat pada tabel 3.1 nilai tegangan output 24V konstan dapat dicapai dengan baik secara simulasi maupun *hardware*, meskipun pada pengujian keduanya terdapat sedikit eror, namun pencapaian keduanya terlihat bahwa pengujian *hardware* sedikit lebih baik dari hasil simulasi.

Pengujian selanjutnya merupakan pengujian *close loop* simulasi dan *hardware quadratic boost converter* menggunakan variasi nilai beban resistansi dari 90 $\Omega$  - 10 $\Omega$ , dengan tegangan *input* yang dijaga konstan pada 17V dan 21V. pengujian ini dilakukan untuk melihat perbandingan kurva efisiensi antara simulasi dan *hardware quadratic boost converter*.



**Gambar 3.1** Kurva efisiensi *Hardware*



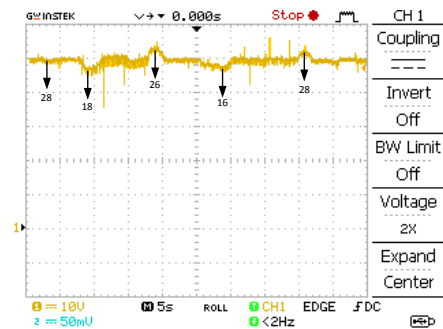
**Gambar 3.2** Kurva efisiensi Simulasi

Dari gambar 3.1 dan 3.2 dapat dilihat bahwa *hardware* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari efisiensi simulasi. Perbandingan efisiensi antara keduanya dapat dilihat pada tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Perbandingan Efosiensi

| Vin       | Simulasi | Hardware |
|-----------|----------|----------|
| V         | %        | %        |
| 17        | 81.26    | 85.75    |
| 21        | 91.89    | 92.61    |
| rata-rata | 86.575   | 89.18    |

Pengujian selanjutnya adalah pengujian *quadratic boost converter* menggunakan *input PV* dan beban tahanan geser yang nilainya diubah secara acak. Pengujian ini menggunakan osiloskop pada sisi *output quadratic boost converter* untuk melihat sinyal *rise time* yang dibutuhkan *fuzzy* untuk menaikkan dan menurunkan tegangan *output quadratic boost converter*.



**Gambar 3.3** Kurva rise time quadratic boost converter

Pada gambar 3.3 dapat dilihat bahwa setiap perubahan beban yang secara acak yang diberikan ( $28\Omega$ ,  $18\Omega$ ,  $26\Omega$ ,  $16\Omega$ ,  $28\Omega$ ), *fuzzy* mampu menjaga tegangan *output* tetap konstan pada  $24V$ .

#### IV. KESIMPULAN

Dari data hasil pengujian *quadratic boost converter* diatas, maka diperoleh beberapa kesimpulan.

1. Pada pengujian variasi tegangan input dan variasi beban, desain *Fuzzy Logic* metode mamdani dapat menjaga tegangan output tetap konstan pada 24VDC.
2. Pada tegangan input minimal 17VDC, *quadratic boost converter* mampu menaikkan tegangan menjadi 24VDC.
3. Dengan menggunakan panel surya jenis *monocrystalline*, dan menggunakan *Fuzzy Logic* metode Mamdani
4. implementasi *DC-DC Step-Up Quadratic Boost Converter* mempunyai efisiensi rata-rata 92,61%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yuliarto Brian. 2017. *"Memanen Energi Matahari"*. Bandung:ITB
- [2] Julisman Andi et. al. 2017. *Prototipe Pemamfaatan Panel Surya Sebagai Sumber Energi pada Sistem Otomatis Atap Stadion Bola*. KITEKRO:Jurnal Online Teknik Elektro.

- [3] Cahyo Ardian Dwi et. al. 2018. *Konverter Daya DC to DC sebagai Driver Motor DC dengan Sistem Kendali Kecepatan Cascade PI*. e-Proceeding of Engineering
- [4] Surya Prabha. B, et. al. 2018 *Mathematical Modelling and Performance Analysis of Quadratic Boost Converter*. International Journal of Scientific & Engineering Research. Volume 9 Issue. Diakses 29 Agustus 2019.
- [5] R. Nagarajan, et. al. 2017. *Implementation of PV – Based Boost Converter Using PI Controller with PSO*. International Journal Of Engineering And Computer Science. Volume 6 Issue. <http://www.ijecs.in/index.php/ijecs/article/view/3255> Diakses 01 Agustus 2019.
- [6] Jumiyaatun, 2018. Controlling DC-DC Buck Converter Using Fuzzy-PID with DC motor load, Universitas Tadulako, Palu