

# IMPLEMENTASI *CURRENT FED PUSH PULL CONVERTER* MENGGUNAKAN KONTROL PI PADA APLIKASI RUMAH MANDIRI

Syechu Dwitya Nugraha<sup>1</sup>, Ony Asrarul Qudsi<sup>2</sup>, Diah Septi Yanaratir<sup>3</sup>, Kenno Robby Pradana<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus PENS Sukolilo Surabaya 60111

Email: syechu@pens.ac.id<sup>1</sup>, ony@pens.ac.id<sup>2</sup>, diahsepti@pens.ac.id<sup>3</sup>

## Abstrak

Aplikasi dari pemanfaatan energi matahari adalah sebuah mikrogrid skala rumah. Pada mikrogrid khususnya menggunakan panel surya atau *Photovoltaic* (PV) sebagai sumber energi utama. Pada aplikasinya tegangan keluaran dari PV dinaikkan atau diturunkan dengan DC-DC konverter. Akan tetapi permasalahan yang terjadi adalah daya atau tegangan keluaran dari PV mudah berubah terhadap irradiasi matahari sehingga perlu dinaikkan dengan rating kelipatan tegangan yang tinggi mencapai 400 V untuk suplai DC bus bar. Maka dari itu pada penelitian ini akan mengaplikasikan *Current Fed push pull Converter* dengan menggunakan kontrol PI yang dapat menaikkan tegangan masukan yang bernilai 70V - 95 V menjadi 400 V dan distabilkan menggunakan metode PI. Dari hasil implementasi, sistem mampu menaikkan tegangan keluaran 400 V dan menjaga tegangan tersebut tetap stabil walaupun tegangan masukannya berubah-ubah.

*Kata Kunci*— Home-Scale Microgrid, DC-DC Converter, *Current Fed push pull Converter*.

## Abstract

The application of solar energy utilization is a home-scale microgrid. In microgrids in particular use solar panels or *Photovoltaic* (PV) as the main energy source. In the application the output *voltage* of the PV is raised or lowered by a DC-DC Converter. However, the problem is that the power or output *voltage* of the PV is susceptible to changes in solar irradiation, so it needs to be raised with a *High Voltage* multiplier rating of up to 400 V for DC bus bar supply. Therefore, in this research will apply *Current Fed push pull Converter* by using PI control that can increase input *voltage* value 70V - 95 V to 400 V and stabilized using PI method. From the results of the implementation, the system is able to raise the output *voltage* of 400 V and keep the *voltage* remains stable even though the input *voltage* is changing.

*Keywords* - Home-Scale Microgrid, DC-DC Converter, *Current Fed push pull Converter*.

## 1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting untuk kehidupan sehari-hari. Kebutuhan energi listrik selama ini bergantung pada energi fosil, sedangkan ketersediaan energi fosil semakin menipis seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik di masyarakat. Untuk mengatasi masalah tersebut mulai banyak dikembangkan dan diteliti sumber energi pengganti dari energi fosil berupa sumber energi terbarukan, salah satunya yaitu sumber energi matahari. Aplikasi dari pemanfaatan energi matahari salah satunya adalah sebuah sistem mikrogrid skala rumah.

Pemanfaatan energi terbarukan (matahari) adalah *Photovoltaic* (PV) yang memanfaatkan energi dari radiasi matahari. PV memiliki beberapa keuntungan, yaitu tidak ada polusi (tanpa emisi), tidak ada suara, sedikit perawatan dan tersedia dalam jumlah yang banyak [1-2]. *Photovoltaic* dapat menghasilkan daya dan tegangan keluaran relatif cukup kecil dan belum stabil sehingga dibutuhkan alat untuk menstabilkan dan menaikkan tegangannya yaitu berupa DC-DC Converter. *Push-Pull Converter* adalah salah satu jenis topologi DC-DC Converter yang fungsinya untuk menaikkan tegangan DC dan juga dapat menaikkan tegangan hingga 5 kali lipat dari tegangan input[3-5]. Pada penelitian ini

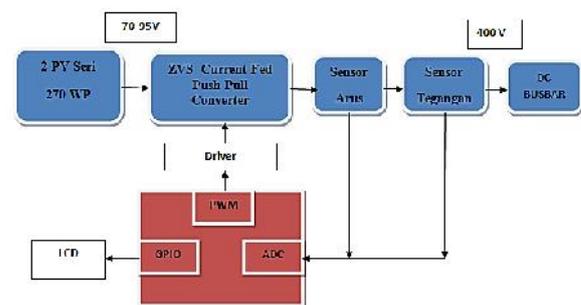
menggunakan rangkaian *Current Fed push pull* dengan *zero voltage Clamped* atau *passive snubbers* yang dibutuhkan untuk menyerap *surge voltage* didalam push-pull[6]. Kelebihan yang lain adalah pada rangkaian dapat menggunakan semikonduktor dengan *rating* tegangan input yang kecil dapat juga digunakan untuk menghubungkan *low voltage* DC bus dengan *High Voltage* DC bus untuk arus yang tinggi.

Pada penelitian ini menggunakan Kontroler *Proporsional Integral* (PI). Kontroler ini memiliki parameter - parameter pengontrol, yaitu constant aproportional ( $K_p$ ), konstanta waktu integral ( $T_i$ ) dan kontroler *derivative*, ketiga parameter tersebut diturunkan dari perhitungan matematis.

## 2. METODE DAN DESAIN

Penelitian *Zero Voltage Switching Current Fed push pull Converter* pada aplikasi Rumah Mandiri ini menggunakan PV 135 WP berjumlah 2 buah yang diseri. Tegangan dan arus keluaran PV ini disensing oleh sensor tegangan dan sensor arus. Tegangan ini digunakan untuk pengaturan *duty cycle switching* konverter dan digunakan untuk umpan balik untuk kontrol PI. Selanjutnya *Current Fed push pull Converter* ini sebagai rangkaian yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan tanpa merubah polaritas tegangan yang dihasilkan dan lcd digunakan menampilkan tegangan keluaran dan arus keluaran dari rangkaian.

Blok diagram system yang diajukan dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar tersebut menjelaskan tentang urutan dari system yang digunakan



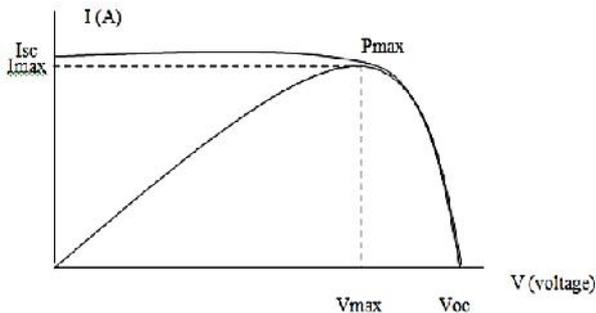
Gambar 1 Blok diagram sistem

Pada Rancangan sistem ini menggunakan dua buah PV yang diseri, satu buah PV dapat menghasilkan tegangan sekitar 40 hingga 60 V DC, jika diseri maka estimasi tegangan keluaran yang didapat di PV adalah 70 hingga 95 V DC selanjutnya dinaikan menjadi 400 V yang akan disalurkan ke DC busbar dengan cara mengatur *duty cycle* pada PWM, dengan menggunakan mikrokontroler Arm STM32F234 dengan kontroler jenis PI.

### A. Photovoltaic (PV)

Panel surya adalah perangkat rakitan sel-sel fotovoltaik yang mengkonversi irradiasi matahari menjadi listrik. Ketika memproduksi panel surya, produsen harus memastikan bahwa sel-sel surya saling terhubung secara elektrik antara satu dengan yang lain pada sistem tersebut. Sel surya juga perlu dilindungi dari kelembaban dan kerusakan mekanis karena hal ini dapat merusak efisiensi panel surya secara signifikan, dan menurunkan masa pakai dari yang diharapkan. Panel surya biasanya memiliki umur 20 tahun yang biasanya dalam jangka waktu tersebut pemilik panel surya tidak akan mengalami penurunan efisiensi yang signifikan.

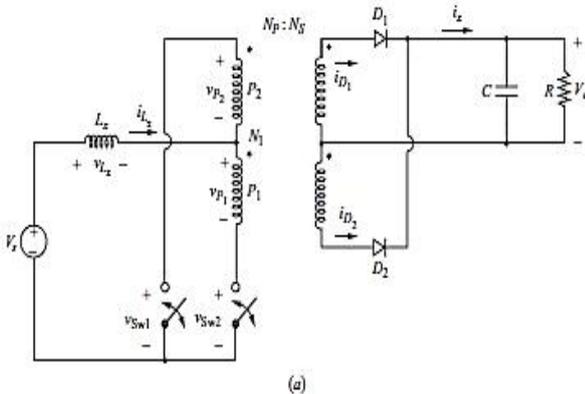
Daya listrik yang dihasilkan panel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat panel surya tersebut untuk memproduksi tegangan. Kemampuan ini mempresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) dan kurva daya-tegangan (P-V) sesuai pada Gambar 2[7].



Gambar 2 Kurva karakteristik I-V dan P-V panel surya

B. Current Fed push pull Converter

Push-Pull Converter merupakan salah satu jenis dari *isolated dc-dc Converter* dimana antara sisi input dengan output terisolasi karena ada transformator. Output tegangan *Push-Pull Converter* bervariasi dengan memvariasikan duty cycle. Rasio transformator tegangan ditentukan apakah konverter merupakan *step-up* atau *step down*. Pada Gambar 3 ditunjukkan rangkaian *push-pull Converter*.



Gambar 3 Rangkaian Current Fed Push Pull

Pada Gambar 3 ditunjukkan sebuah rangkaian yang merupakan modifikasi dari konverter *push-pull*. Induktor ( $L_x$ ) telah dipindahkan dari sisi *output* dari trafo ke sisi *input*. Sebuah induktor besar dalam posisi ini membentuk sumber arus hampir konstan.  $S1$  off mengarahkan arus melalui lilitan primer ( $P1$ ), dan  $S2$  off mengarahkan arus melalui lilitan sekunder ( $P2$ ). Dengan kedua *switch* ditutup, saat ini membagi secara merata antara gulungan.

- $S1$  On dan  $S2$  Off

Arus induktor  $I_L$  mengalir melalui lilitan primer  $P1$  dan melalui  $D1$ , ketika  $S1$  On dan  $S2$  Off,  $D1$  dalam keadaan On,  $D2$  off dan persamaannya

$$I_{d1} = I_L x \left( \frac{N_P}{N_S} \right) \tag{1}$$

$$V_{p1} = V_o \left( \frac{N_P}{N_S} \right) \tag{2}$$

$$V_{Lx} = V_s - V_o \left( \frac{N_P}{N_S} \right) \tag{3}$$

$$V_{sw2} = V_{p1} + V_{p2} = 2V_o \left( \frac{N_P}{N_S} \right) \tag{4}$$

- $S1$  Off dan  $S2$  On

Dengan  $S1$  off dan  $S2$  On,  $I_L$  mengalir melalui lilitan primer  $P2$  dan melalui  $D2$  di sekunder.  $D1$  dalam keadaan off dan  $D2$  On dan berikut persamaannya:

$$I_{d2} = I_L x \left( \frac{N_P}{N_S} \right) \tag{5}$$

$$V_{p2} = V_o \left( \frac{N_P}{N_S} \right) \tag{6}$$

$$V_{Lx} = V_s - V_o \left( \frac{N_P}{N_S} \right) \tag{7}$$

$$V_{sw1} = V_{p1} + V_{p2} = 2V_o \left( \frac{N_P}{N_S} \right) \tag{8}$$

- $S1$  dan  $S2$  off secara bersamaan

Ketika kedua *switch* off bersamaan,  $I_L$  terbagi diantara dua lilitan dan  $D1$  dan  $D2$  dalam keadaan off. Tegangan dimasing-masing lilitan primer adalah nol:

$$V_{p1} = V_{p2} = 0 \tag{9}$$

Tegangan induktor :

$$V_{Lx} = V_s \tag{10}$$

Tegangan rata-rata yang melalui  $L_x$  harus nol untuk kondisi steady state, hingga satu periode switching,  $v_{Lx} - V_s - V_o(N_P/N_S)$  untuk dua interval dari  $(1 - D)T$  ketika hanya satu switch off dan,  $V_{Lx} - V_s$  dalam satu waktu,  $T - 2(1 - D)T - (2D - 1)T$ .

Tegangan rata-rata Induktor ( $V_{Lx}$ ) dapat dilihat:

$$V_{Lx} = V_s(2D - 1)T + \left( V_s - V_o \left( \frac{N_P}{N_S} \right) \right) 2(1 - D)T = 0 \tag{11}$$

Penyelesaian untuk tegangan keluaran ( $V_o$ ),

$$V_o = \frac{V_s}{2(1-D)} \left( \frac{N_s}{N_p} \right) \tag{12}$$

*Duty cycle* harus melebihi dari 0,5 untuk menghindari *short circuit* pada rangkaian.

C. Desain *Current Fed push pull Converter*

Data – data yang digunakan dalam mendesain *Current Fed push pull Converter* adalah sebagai berikut.

- Tegangan masukan,  $V_{in} = 70-95$  V DC
- Tegangan Keluaran,  $V_{out} = 400$  V DC
- Daya maksimum keluaran,  $P_{out} = 210$  W
- Frekuensi Switching,  $F_s = 40$  KHz
- Menentukan nilai duty cycles
- $V_{ct} \cong 1.05 \times V_{inMax}$
- $\cong 1.05 \times 95$
- $\cong 99,75$  V

Dengan  $V_{inMin} = 70$  V, nilai duty cycles maksimum diperoleh dari:

$$D_{max} = 1 - \frac{V_{in_{min}}}{2V_{ct}} = 1 - 0.35 = 0.649$$

Dengan  $V_{inMax} = 95$  V, nilai duty cycles minimum diperoleh dari:

$$D_{min} = 1 - \frac{V_{in_{max}}}{2V_{ct}} = 1 - 0.476 = 0.524$$

Jumlah perbandingan lilitan transformer

$$n = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_{ct}}{V_o} = \frac{99.75}{400} = 0.2493$$

D. Desain Induktor

Banyak faktor yang mempengaruhi untuk mendesain peralatan magnetic. Puncak *flux density* inti tidak boleh saturasi. Puncak ac *flux density* juga harus cukup kecil, selain itu faktor kualitas harus diperhatikan. Celah udara dibutuhkan untuk peralatan yang menyimpan energi atau filter seperti induktor pada rangkaian *push – pull Converter*. Celah udara tersebut juga berguna untuk mendapatkan nilai faktor kualitas yang baik ( $Q > 10$ ).

$$I_{in_{max}} = \frac{P_o}{\mu \times V_{in_{min}}} = \frac{210}{0.8 \times 75} = 3.5A$$

$$(\Delta I)_{max} = 0.1 \times I_{in_{max}} = 0.1 \times 3.5 = 0.35 A$$

Nilai *inductor* minimum didapatkan sebesar

$$L_{min} = \frac{V_{ct}}{16 \times F_s \times (\Delta I)_{max}}$$

$$L_{min} = \frac{99.75}{16 \times 40k \times 0.35}$$

$$L_{min} = 0.445mH$$

Sedangkan jumlah lilitan yang harus dibuat untuk menghasilkan *inductor* dengan spesifikasi tersebut adalah

$$n = \frac{L \times I_{max}}{B_{max}^2 \times A_c} = \frac{0.445m \times 3.5}{0.25^2 \times 1.6} \times 10^4 = 15.6$$

$$n \cong 16$$

E. Desain Induktor dan Capacitor

Bagian yang paling menentukan berhasil atau tidaknya suatu *push-pull DC-DC Converter* tersebut bekerja baik adalah desain transformernya. Transformer harus didesain sedemikian rupa sehingga memiliki nilai magnetizing inductance ( $L_m$ ) sebesar mungkin dan leakage inductance ( $L_k$ ) yang sekecil mungkin.  $L_m$  yang besar maka akan mengurangi spike dari tegangan induksi transformer. Dan  $L_k$  yang kecil akan meningkatkan performansi dari transformer pada *Current Fed push pull* ini menggunakan dua transformer dengan nilai rasio dan lilitan yang sama dan dihubung seri.

Jumlah lilitan primer diperoleh dari:

$$N_p = \frac{V_{ct}(1 - D)}{2 \times A_c \times B_m \times F_s}$$

$$N_p = \frac{99.75(1 - 0.524)}{2 \times 1.96 \cdot 10^{-4} \times 0.25 \times 40k} = 12.1 \cong 13$$

Sedangkan jumlah lilitan sekunder sebesar:

$$N_s = \frac{V_o(1 - D)}{2 \times A_c \times B_m \times F_s}$$

$$N_p = \frac{400(1 - 0.524)}{2 \times 1.96 \cdot 10^{-4} \times 0.25 \times 40k} = 48.57$$

$$N_p \cong 49$$

Nilai kapasitor yang dipasang agar nilai ripple tegangan output sebesar 2% adalah

$$C = \frac{P_o(2D - 1)}{4 \times rippleV \times V_o^2 \times F_s}$$

$$C = \frac{210(2 \cdot 0.649 - 1)}{4 \times 0.02 \times 400^2 \times 40k} = 0.122\mu F \cong 1\mu F$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian *Current Fed Push-Pull Converter* digunakan PWM dari ARM32F4 sebagai *switching*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui fungsi *Current Fed Push-Pull Converter* sebagai *dc-dc Converter* yang digunakan untuk menaikkan tegangan atau *boost mode*. Pengujian *Current Fed Push-Pull Converter* dengan cara fungsional dilakukan untuk mengetahui apakah konverter bekerja sesuai fungsinya sebagai penaik dan penurun tegangan. pengujian ini diberikan tegangan masukan sebesar 10 V hingga 95 V dengan frekuensi *switching* 40 kHz dan *duty cycle* yang bervariasi dengan beban 2 buah lampu

pijar 220V 100W yang diseri yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil pengujian perangkat keras *Current Fed Push-Pull Converter* secara fungsional ditunjukkan pada Tabel 1.

Setelah melakukan uji fungsi dari *Current Fed Push-Pull Converter*, dilanjutkan dengan uji sistem yang terintegrasi. Tabel 2 menunjukkan data uji *integrasi* yang dilakukan pada pukul 10.00 sampai dengan 13.00 dengan sumber *Photovoltaic*. dari hasil pengujian dihasilkan tegangan output konstan yaitu 400 V dengan tegangan masukan yang berubah dari 66 V hingga 76 V. Daya input tertinggi sebesar 195 W serta efisiensi rata-rata sistem sebesar 85,7%.

**Tabel 1** Data pengujian perangkat keras *Current Fed push pull Converter* secara fungsional

No	Vin (V)	Iin (A)	Vo (V)	Io (A)	$\mu$ (%)
1	10	0.6	35	0.1	58.33
2	20	0.9	80	0.15	66.67
3	30	1.2	105	0.2	58.33
4	40	1.4	145	0.24	62.14
5	50	1.6	190	0.26	61.75
6	60	1.8	235	0.3	65.28
7	70	2	275	0.32	62.86
8	80	2.1	320	0.32	64.76
9	95	2.4	400	0.3	70.17

**Tabel 2** Hasil pengujian integrasi *Current Fed Push-Pull Converter* dengan sumber *Photovoltaic*

No	Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)
1	10	70	2.45	171.5	400	0.38	152
2	10.15	69	2.55	175.95	400	0.39	156
3	10.3	70.9	2.5	177.25	400	0.39	156.39
4	10.45	69.5	2.6	180.7	400	0.392	156.8
5	11	70.5	2.6	183.3	400	0.393	157.2
6	11.15	69	2.65	182.85	400	0.392	156.8
7	11.3	66.5	2.8	186.2	400	0.394	158
8	11.45	67.4	2.8	188.72	400	0.389	155.6
9	12	76.5	2.55	195.075	400	0.39	156
10	12.15	68	2.7	183.6	400	0.38	152
11	12.3	70.1	2.5	175.25	400	0.38	152
12	12.45	69.5	2.45	170.27	400	0.37	148

No	Waktu	Vin (V)	Iin (A)	Pin (W)	Vout (V)	Iout (A)	Pout (W)
13	13	72	2.2	158.4	399	0.35	138.6



**Gambar 4** Pengujian *Current Fed Push-Pull Converter*

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

*Current Fed push pull* konverter dapat menaikkan tegangan hingga 4 kali dari tegangan masukan dari *Photovoltaic* sebesar 66 Volt hingga 76 Volt menjadi 400 V

Penerapan kontroler PI berhasil menstabilkan tegangan keluaran *Current Fed push pull* sebesar 400 V meskipun tegan PV berubah-ubah

Daya input tertinggi sebesar 195 W dengan efisiensi rata-rata sistem sebesar 85.7%

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PENS yang telah mendukung dan membiayai penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. c. Zheng and L. y. Wang, "Research on charging control for battery in *Photovoltaic* system," 2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Beijing, 2011, pp. 2321-2325.
- [2] S. D. Nugraha, E. Wahjono, E. Sunarno, D. O. Anggriawan, E. Prasetyono and A. Tjahjono, "Maximum power point tracking of *Photovoltaic* module for battery charging based on modified firefly algorithm," 2016 International Electronics Symposium (IES), Denpasar, 2016, pp. 238-243
- [3] A. Rabello, C. Marcio, G. Sousa, and J. Vieira, 1997 "A fully protected pushpull current-fed dc-dc *Converter*," in Conf. Rec. IECON, pp. 587 – 592, IEEE
- [4] P. Xuwei and A. K. Rathore, "Naturally Clamped Zero-Current Commutated Soft-Switching Current-Fed Push–Pull DC/DC *Converter*: Analysis, Design, and Experimental Results," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 3, pp. 1318-1327, March 2015.
- [5] S. D. Nugraha, O. A. Qudsi, D. S. Yanaratri, E. Sunarno and I. Sudiharto, "MPPT-*Current Fed push pull Converter* for DC bus source on solar home application," 2017 2nd International conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), Yogyakarta, 2017, pp. 378-383.
- [6] Vijayan, A., Deepa, K., Kumar, M., Soft Switching Scheme for a Post-Regulated Current-Fed Push-Pull *Converter*, (2013) International Review on Modelling and Simulations (IREMOS), 6 (2), pp. 317-322.

- [7] M. A. Elgendy, B. Zahawi and D. J. Atkinson, "Assessment of Perturb and Observe MPPT Algorithm Implementation Techniques for PV Pumping Applications," in IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 3, no. 1, pp. 21-33, Jan. 2012.