

## RANCANG BANGUN BIDIRECTIONAL CONVERTER MENGGUNAKAN KONTROL PROPORTIONAL-INTEGRAL UNTUK SISTEM PENEREMAN REGENERATIF

Yuni Rizki Linggarsi<sup>1</sup>, Efri Suhartono<sup>2</sup>, Kharisma Bani Adam<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi, Dayeuh Kolot Bandung 40257 Indonesia

<sup>1</sup>yunirizki32@gmail.com,

<sup>2</sup>efrisuhartono@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>kharismaadam@telkomuniversity.ac.id

### Abstrak

Perkembangan mobil listrik di Indonesia saat ini berlangsung sangat pesat. Namun masih memiliki kendala karena kemampuan jelajah mobil listrik yang terbatas sampai akhirnya menemukan tempat untuk mengisi ulang baterai. Oleh karena itu, diperlukan adanya teknologi untuk meningkatkan ketahanan daya baterai.

Salah satu teknologi yang dapat meningkatkan ketahanan daya baterai adalah dengan cara merecoveri energi yang terbuang pada saat pengereman atau teknologi ini telah ada pada *Hybrid Electric Vehicle* (HEV). Selain mendapatkan sumber listrik dari baterai, masukan daya pada sistem *Hybrid Electric Vehicle* juga dapat diperoleh dari motor listrik pada saat terjadi pengereman regeneratif. Agar diperoleh kinerja yang optimal, arus *charging* dan *discharging* pada baterai diatur oleh *bidirectional converter* berbasis kontrol PI (*Proportional-Integral*). *Bidirectional converter* berfungsi sebagai regulator aliran daya pada saat motoring dan saat pengereman regeneratif. Kontrol PI (*Proportional-Integral*) berfungsi untuk mengatur kecepatan motor agar didapatkan kecepatan motor sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Dengan mengatur kecepatan motor diharapkan untuk mendapatkan pengembalian daya secara optimal.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat *bidirectional converter* yang bekerja secara efektif dalam sistem pengereman regeneratif untuk mendapatkan pengembalian daya secara optimal. Kecepatan respon dan *error steady state* merupakan parameter yang diukur untuk menilai kinerja suatu sistem kendali. Dengan menggunakan trial dan error konstanta kendali  $K_p$ ,  $K_i$  masing-masing sebesar  $K_p=0,6$  dan  $K_i=0,2$ .

**Kata kunci:** *Bidirectional Coverter, Kontrol PI (Proportional-Integral), Sistem Pengereman Regeneratif*

### Abstract

*The development of electric car in Indonesia nowadays has went on so fast. however it still has problem due to electric car's capability of cruising that limited until it reaches location to recharge the battery. Hence, it is highly needed for the availability of technology in order to elevate the battery life.*

*One of technologies that can increase the battery life is by recovering the wasted energy when braking occurred or in this case the technology has made in Hybrid Electric Car (HEV). Besides obtaining the power source from the battery, power input in Hybrid Electric Vehicle system can also be gained from electric motor when the regenerative braking occurred. To obtain the performance with optimal result, charging and discharging current in the battery are controlled by bidirectional converter based on PI control (Proportional-Integral). Bidirectional converter function as the regulator of power flow while motoring and the regenerative braking are occurred. PI control (Proportional-Integral) function is to control the motor's speed so that the precise of motor's speed can be obtained with desired velocity. By controlling motor's speed, it is expected to obtain the power restoration optimally.*

*The goal of this research is to obtain a bidirectional converter that can operates effectively, in regenerative braking system, in order to gain power restoration optimally, the response's rate and error steady state are the parameters that measured in evaluating the performance's control system. This research utilize trial and error constannta of control  $K_p$ ,  $K_i$ , each of both parameter given its value  $K_p=0,6$  and  $K_i=0,2$ .*

**Keywords:** *Bidirectional Coverter, PI Control (Proportional-Integral), Regenerative Braking System*

## 1. Pendahuluan

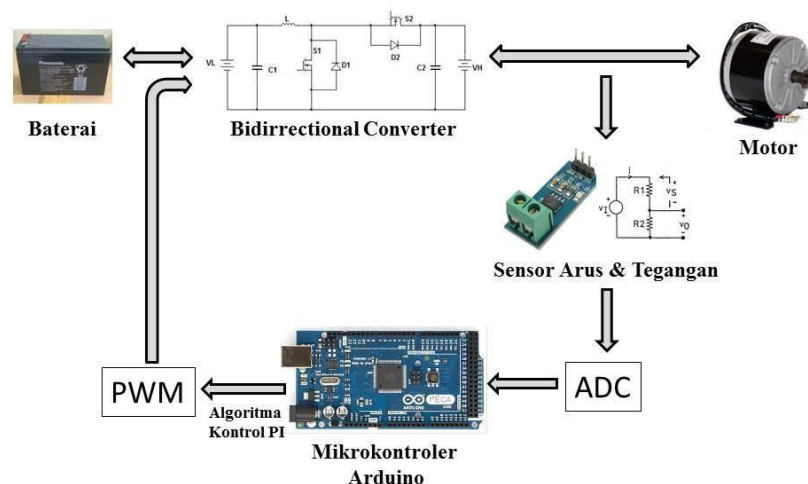
Energi mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia. Salah satunya dimanfaatkan dalam bidang transportasi. Energi yang digunakan dalam bidang transportasi tersebut sebagian besar bersumber pada bahan bakar minyak (BBM). Saat ini, bahan bakar minyak (BBM) di dunia semakin lama semakin menipis. Terlebih lagi pemakaiannya yang berlebihan dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan yaitu polusi udara. Banyak dilakukan penelitian yang dilakukan untuk menemukan inovasi baru sehingga kita tetap dapat menjalankan kegiatan transportasi namun tetap memperhatikan lingkungan sekitar, antara lain adalah dengan mengembangkan kendaraan yang bersumber daya listrik.

Perkembangan mobil listrik saat ini berlangsung sangat pesat. Namun mobil listrik masih memiliki beberapa kendala. Kemampuan jelajah mobil listrik yang terbatas sampai akhirnya menemukan tempat untuk mengisi ulang baterai. Hal ini disebabkan karena belum adanya proses regeneratif *charging* pada baterai yang dapat membuat ketahanan daya baterai meningkat sehingga jarak tempuh dari mobil listrik meningkat. Sistem pemulihan energi menggunakan energi kinetik pada mobil listrik pada saat melakukan pengereman. Pada saat pengereman, mesin listrik yang semula bekerja sebagai motor seketika berubah bekerja sebagai generator. Agar diperoleh kinerja yang optimal, arus *charging* dan *discharging* pada baterai diatur oleh *Bidirectional Converter* berbasis kontrol Proportional-Integral. *Bidirectional converter* berfungsi sebagai regulator aliran daya pada saat *motoring* dan saat pengereman regeneratif.

Dengan penelitian ini, diharapkan dapat mengetahui bagaimana merancang *bidirectional converter* dengan menggunakan kontrol PI serta dapat mengetahui efisiensi dari *bidirectional converter* yang telah dirancang.

## 2. Dasar Teori dan Perancangan

### 2.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 2.1 Diagram blok sistem

Berdasarkan Gambar 2.1 dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sumber tegangan dari baterai 12 Volt digunakan sebagai tegangan input.
2. Sumber tegangan 9 Volt digunakan untuk menyuplai tegangan pada driver mosfet TLP250.
3. Mikrokontroler digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM.
4. Fungsi dari *bidirectional converter* digunakan untuk mengatur proses *charging* dan *discharging* pada baterai. Konverter ini mendapatkan tegangan dari baterai sebesar 12 Volt. Terdiri dari *Buck-Boost Converter* yang di dalamnya terdapat MOSFET yang berfungsi sebagai *switch* dan diatur dengan metode PWM.
5. Keluaran dari rangkaian *bidirectional converter* disensing oleh sensor arus dan tegangan sehingga dapat dikontrol melalui mikrokontroler. Mikrokontroler mengatur MOSFET pada konverter dengan cara mengubah-ubah nilai *duty cycle*.
6. Menggunakan kontrol Proportional-Integral untuk mendapatkan tegangan sesuai dengan setpoint yang telah ditentukan sebelumnya.

**2.2 Perencanaan dan Pembuatan Rangkaian Bidirectional Converter**

Data parameter untuk mendesain *bidirectional converter* pada saat mode buck (discharge), diantaranya sebagai berikut:

$$V_o = 13 \text{ V}$$

$$V_{in} = 24 \text{ V}$$

$$P = 100 \text{ W}$$

$$F = 25 \text{ kHz}$$

$$R = 1,44 \Omega$$

Menentukan Duty Cycle:

$$\text{---} \quad \text{---}$$

Menentukan nilai induktor continuous current:

$$\frac{(\quad)}{\quad} \quad \frac{(\quad)}{\quad}$$

Induktor Real besarnya 25 % dari induktor minimum, untuk menjamin continuous current :

$$\text{---} \quad \text{---}$$

Menentukan nilai kapasitor:

$$\frac{(\quad)}{\quad} \quad \frac{(\quad)}{\quad} \frac{(\quad)}{\quad} \frac{(\quad)}{\quad}$$

Data parameter untuk mendesain *bidirectional converter* pada saat mode boost, diantaranya sebagai berikut

$$V_o = 24 \text{ V}$$

$$V_{in} = 13 \text{ V}$$

$$P = 100 \text{ W}$$

$$F = 25 \text{ kHz}$$

$$R = 1,44 \Omega$$

Menentukan Duty Cycle:

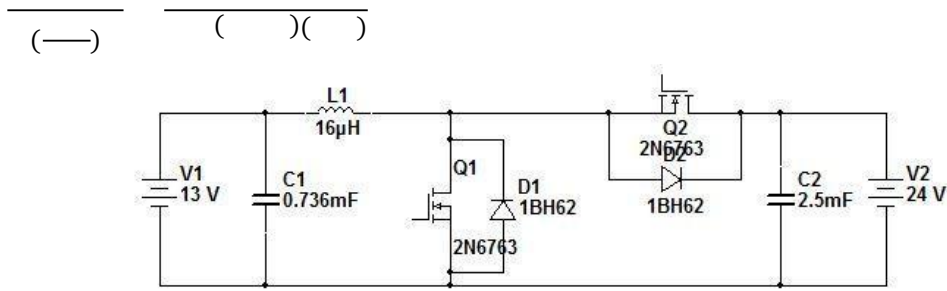
$$\text{---} \quad \text{---}$$

Menentukan nilai induktor continous current:

$$\frac{(\quad)}{\quad} \quad \frac{(\quad)}{\quad}$$

$$\frac{(\quad)}{\quad} = \frac{(\quad)}{\quad} \quad \text{---}$$

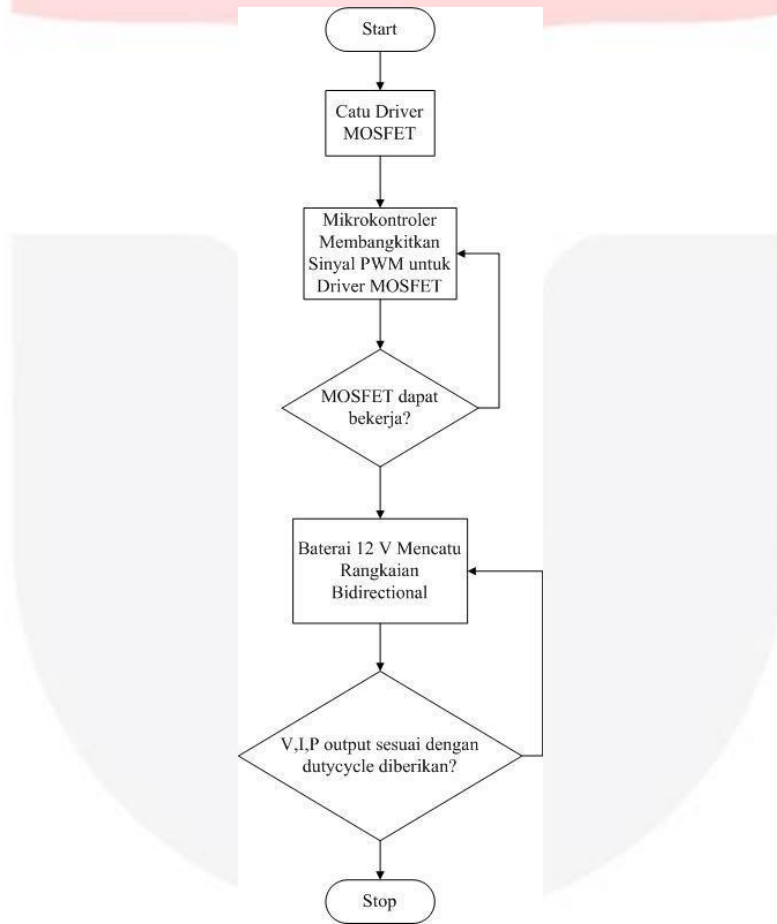
Menentukan nilai kapasitor:



Gambar 2. 1 Perancangan Bidirectional Converter

Dapat dilihat pada Gambar 2.2 merupakan hasil perancangan dari pembuatan rangkaian Bidirectional Converter

2.4 Diagram Alir Sistem



Gambar 2.3 Diagram Blok

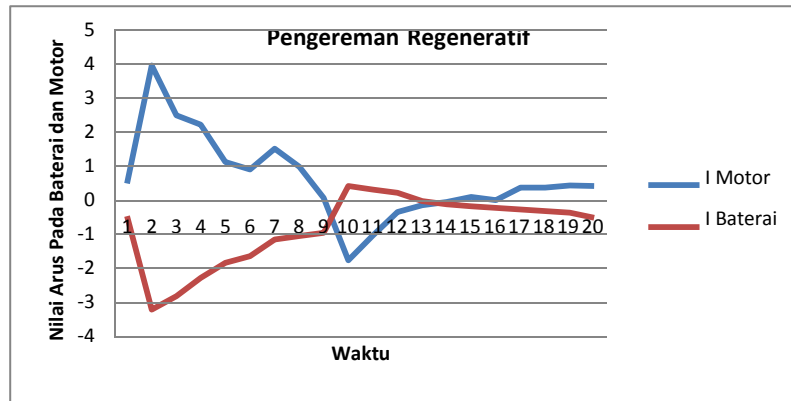
3. Pengujian dan Analisis

3.1 Pengujian *braking* rangkaian *bidirectional converter* dengan motor sebagai beban

Pengujian ini dilakukan dengan motor sebagai beban. *Duty cycle* yang digunakan sebesar 0,9 selama rentang waktu 0 – 20. Lalu di rentang waktu berikutnya *duty cycle* diubah menjadi 0,3 selama rentang waktu 21 – 40. Kemudian akan dicatat nilai keluaran tegangan, arus dan daya untuk melihat terjadi arus dan daya dari motor yang kembali ke baterai.

**Tabel 3.1** Pengujian saat *braking system*

T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I <sub>Mot</sub>	0.6	4.1	2.6	2.3	1.2	1.0	1.6	1.1	0.2	-1.6	-0.8	-0.2	0.2	0.1	0.3	0.17	0.54	0.54	0.61	0.59
I <sub>Bat</sub>	-0.2	-3	-2.6	-2.1	-1.7	-1.4	-1	-0.9	-0.8	0.5	0.4	0.3	0.1	0.05	0	-0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3



**Gambar 3.1** Pengujian saat *braking system*

Dari Gambar 3.1 diatas dapat dilihat bahwa saat pertama kali sistem dinyalakan, sumber menyuplai tegangan ke motor, lalu saat tegangan dikurangi , maka arus dari sumber akan menjadi kecil karna perubahan arus sebanding dengan perubahan tegangan. Di sisi lain, motor berputar menghasilkan arus yang arahnya berlawanan dengan arah arus pada sumber. sehingga ketika arus pada sumber mengecil arus yang dihasilkan motor menjadi lebih dominan dibanding arus yang dihasilkan oleh sumber. Hal ini mengakibatkan terjadinya perubahan sesaat pada polaritas arus.

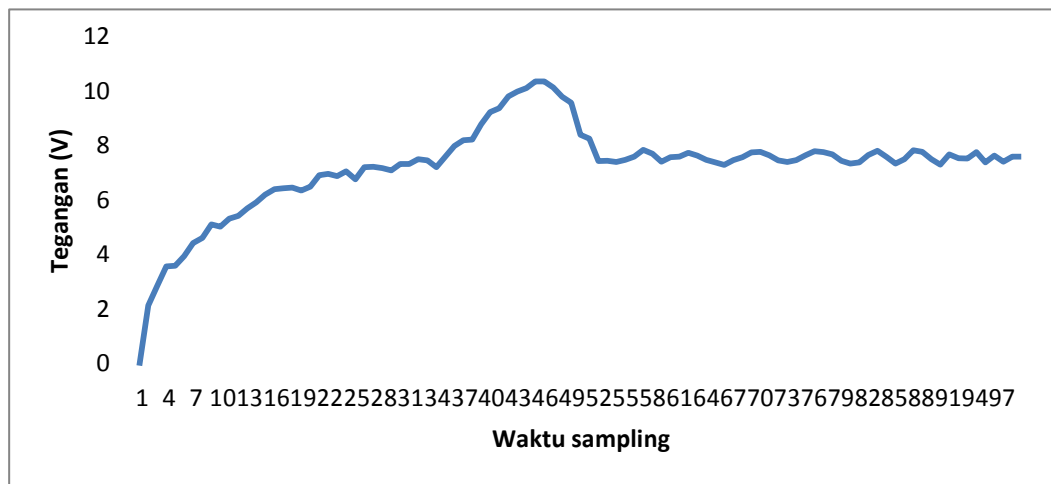
**3.2 Rangkaian *bidirectional converter* dengan menggunakan kontrol PI**

Pengujian Rangkaian *bidirectional converter* ini menggunakan beban baterai 12 volt dimana *output* dari *converter* yaitu konstan sesuai *setpoint* yang diinginkan, tegangan masukan dapat mengalir ke output maksimal 14 Volt. Nilai K<sub>p</sub> dan K<sub>i</sub> ditentukan diawal dengan nilai K<sub>p</sub> = 0,6 dan K<sub>i</sub> = 0,2. Penentuan nilai K<sub>p</sub> dan K<sub>i</sub> berdasarkan trial and error. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Pengujian rangkaian *bidirectional converter* dengan menggunakan kontrol PI

Vin (V)	Vref (set point)	Output (v)
12.1	8	7.33
12.11	8	7.11
12.1	8	7.28
12.11	8	7.34
12.11	8	7.12
12.09	8	7.31
12.09	8	7.24
12.09	8	7.32
12.09	8	7.36
12.1	8	7.43
12.09	8	7.38
12.09	8	7.32
12.08	8	7.27
12.08	8	7.21
12.08	8	7.29
12.09	8	7.33
12.08	8	7.38

Dari pengujian diatas dapat diketahui bahwa dengan tegangan input baterai yang berubah-ubah yaitu antara 12.08 – 12.11 V dengan Rangkaian *bidirectional converter* buck-boost converter kontrol PI, tegangan Output dapat mendekati setpoint dengan error pertama yaitu 8.375 % kemudian turun mendekati setpoint sebesar 8 volt, Output dari converter ini tetap berada di tegangan antara 7,11 – 7,43 volt.



**Gambar 3.1** Grafik respon sistem tegangan output rangkaian *Bidirectional converter* dengan kontrol PI

Dari pengujian diatas dapat diketahui bahwa dengan tegangan masukan baterai yang bervariasi yaitu antara 12.08 – 12.11 V Rangkaian *bidirectional converter buck-boost converter* kontrol PI, tegangan *Output* dapat mendekati *setpoint* dengan *error* pertama yaitu 6 V kemudian turun mendekati *setpoint* sebesar 8 volt, *Output* dari *converter* ini tetap berada di tegangan antara 7 – 7,5 volt.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa rancang bangun *bidirectional converter* menggunakan kontrol Proportionsl-Integral untuk sistem pengereman regeneratif diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada catu daya driver mosfet TLP250, minimal tegangan input yang diperlukan adalah 4 Volt agar *driver* mosfet bekerja dengan stabil.
2. Rangkaian *bidirectional converter* sudah berhasil menjadi regulator aliran daya dalam sistem pengereman regeneratif. Sehingga ketika terjadi *braking* pada motor, daya yang semula mengalir dari baterai ke motor, dikembalikan lagi ke baterai.
3. Sistem pada rangkaian *bidirectional converter* dapat berfungsi dalam dua mode, yang pertama sebagai Buck mode atau saat *discharging*, dan yang kedua Boost mode atau saat *charging* daya kembali lagi ke baterai.
4. Diperlukan beban pada motor yang cukup besar, agar arus yang dihasilkan semakin besar pula.
5. Menggunakan metode sistem pengereman regeneratif seperti pada rangkaian *bidirectional converter* memiliki manfaat dalam dunia industri mobil listrik yaitu dalam hal penghematan daya baterai.
6. Tugas akhir ini merupakan prototype dari sistem pengereman regeneratif pada mobil listrik. Pada prototype ini yang diatur adalah *duty cycle* dari kedua mosfet untuk sistem akselerasi dan pengereman seperti mobil listrik sesungguhnya.

### 5.2 Saran

1. Penentuan sensor tegangan yang tepat sangat penting dibutuhkan agar akurasi pada pengukuran tegangan pada rangkaian semakin meningkat.
2. Diharapkan aliran daya yang menuju ke baterai saat pengereman regeneratif semakin besar untuk mendapatkan *charging* yang lebih optimal.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] W. Hart, Daniel. 2011. Power Electronics. New York. The McGraw-Hill Companies.
- [2] Rashid, Muhammad H. 2004. *Power Electronics : Power Electronics Circuits, devices, and application 3rd Edition*. New Jersey : Prentice Hall.
- [3] Y. Lung-Shang and L.Tsorng-Jun. "Analysis and Implementation of a Novel Bidirectional DC-DC Converter", vol. 59, pp. 422-427, 2012.
- [4] Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, Bandung: Penerbit ITB, 1991.

- [5] M. Hidayat, Suryo. 2010. "Rancang Bangun Buck Boost Konverter", Universitas Indonesia.
- [6] S. Akmad, J. Arman, S. Indhana. "Rancang Bangun Sistem Efisiensi Energi Listrik di Lab Rangkaian Listrik D3", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS.
- [7] P. Josaphat, W. Handy. "Kontrol PID Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Metode Tuning Direct Syntesis" Universitas Kristen Petra, ITS.
- [8] D. Siddik, A Musyafa, R. Hantoro. "Rancang Bangun Buck-Boost Converter Pada Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol PI dan PID Berbasis Mikrokontroler ATmega8535", ITS.

