

Sistem Regenerative Braking Kontroler Motor BLDC 500 Watt

Difa Yudha Pratama
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

difapratama@student.telkomuniversity.ac.id

Angga Rusdinar
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

Anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id

Irwan Purnama
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

irwanp@telkomuniversity.ac.id

Abstract—Saat ini, kendaraan listrik sedang mengalami perkembangan pesat dalam segi produksi dan permintaan. Hal itu terjadi dikarenakan timbulnya rasa kesadaran tentang semakin maraknya polusi udara yang dihasilkan oleh kendaraan konvensional. Minimnya polusi udara yang dihasilkan oleh kendaraan listrik disebabkan penggunaan baterai untuk menyimpan energi dan menggerakkan motor listriknya. Dalam pengaplikasiannya, kendaraan listrik menggunakan motor BLDC sebagai motor penggerak utamanya. Motor BLDC dipilih dikarenakan tingkat efisiensi motor yang tinggi, perawatan yang mudah, dan dimensi yang lebih kecil dibanding motor lainnya. Dalam penggunaannya, diperlukan kontroler motor BLDC untuk mengatur pergerakan dari motor BLDC sendiri. Kontroler memiliki peran penting dalam mengatur serta memanfaatkan kelebihan dan mencegah kekurangan dari motor BLDC. Salah satu kelebihan dari motor BLDC yaitu dapat menjadi generator listrik dalam kondisi tertentu. Berdasarkan hal tersebut, disusun suatu penelitian serta fokus berupa pemanfaatan *Regenerative Braking System* pada kontroler BLDC. Dengan adanya fokus tersebut, daya tahan baterai dapat memiliki waktu lebih lama dibandingkan dengan sebelumnya.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan berkelanjutan bahan bakar fosil telah menyebabkan peningkatan yang stabil dari konsentrasi CO₂ di atmosfer menjadi 400,26 ppm pada tahun 2015, Sektor transportasi merupakan faktor utama bagi konsumsi bahan bakar dan emisi gas rumah kaca [1]. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia ialah sebesar 7 juta unit tiap tahunnya [2]. Jika peningkatan jumlah kendaraan bermotor berbahan bakar fosil terus meningkat dalam beberapa tahun kedepan hal itu akan menyebabkan makin meningkatnya gas rumah kaca di atmosfer. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif untuk menggantikan kendaraan bahan bakar fosil yaitu kendaraan listrik. Akan tetapi hal tersebut menimbulkan masalah baru yaitu pada sistem kendali yang berbeda. Dimana kendaraan listrik bergerak menggunakan motor listrik yang di kendalikan oleh sebuah kontroler.

Pada masa sekarang motor listrik yang memiliki efisiensi paling tinggi ialah motor BLDC [3]. Tipe motor ini memiliki sistem kendali yang berbeda dengan motor DC pada umumnya, motor ini menggunakan sistem kendali 3 fasa dimana sistem kendali ini ada untuk mengatur nilai tegangan BEMF [4]. Karena rumitnya sistem kendali 3 fasa yang digunakan oleh

motor BLDC, menyebabkan tingginya harga untuk kontroler motor tersebut.

Motor BLDC merupakan motor dalam klasifikasi *synchronous* AC, oleh karena itu diperlukan kontrol kecepatan yang mampu menstabilkan kecepatan motor BLDC [5]. Motor BLDC menggunakan 3 fasa yang terhubung ke driver untuk sistem kendalinya maka diperlukan sistem komutasi. Sistem komutasi yang digunakan pada motor BLDC ialah *hall sensor* yang terhubung dengan inverter *six step comutation*. Untuk menunjang performansi komutasi dalam kendali motor, maka diterapkan sistem kendali untuk menghasilkan kinerja kontroler yang sesuai.

Salah satu kelebihan dari motor BLDC yaitu kemampuan untuk menghasilkan energi listrik kembali berupa tegangan AC. Tegangan AC akan dihasilkan ketika BLDC berputar mempertahankan momentumnya setelah melakukan akselerasi hasil dari kendali *six step commutation*. Untuk menunjang kemampuan serta kelebihan dari kontroler motor BLDC, maka diterapkan *Regenerative Braking System* guna memperpanjang daya tahan baterai dalam satu siklus penggunaan.

II. KAJIAN TEORI

A. Kajian Teori

2.1 Regenerative Braking System

Regenerative Braking merupakan metode yang digunakan pada kendaraan listrik untuk menangkap energi yang dimiliki kendaraan listrik akibat gerakannya atau dengan kata lain, energi kinetik yang akan terbuang saat kendaraan melambat atau berhenti saat melakukan pengereman. Dalam pengaplikasiannya, *Regenerative Braking* akan mengubah energi kinetik yang terbuang menjadi energi listrik dengan menggunakan beberapa sistem lalu digunakan kembali untuk melakukan pengisian daya kepada baterai.

2.2 Three Phase Rectifier

Three Phase Rectifier merupakan rangkaian yang dapat menyearahkan *input* berupa tegangan AC (*alternating current*) menjadi tegangan DC yang tetap dengan menggunakan dioda. Rangkaian *Three Phase Rectifier* menghasilkan gelombang *full bridge* setelah penyearahan.

2.3 DC-DC Boost Converter

DC-DC Boost Converter atau *DC-DC Step Up Converter* merupakan rangkaian/modul yang berfungsi untuk

meningkatkan tegangan sekaligus menurunkan tegangan. *Boost Converter* bekerja dengan memanfaatkan arus besar yang tertahan pada induktor. Perhentian suplai arus ke induktor secara tiba-tiba menyebabkan induktor menaikkan tegangannya untuk mengalirkan arus kepada kapasitor keluaran dengan halus. Karena itu, tegangan pada keluaran kapasitor akan menjadi tinggi digunakan untuk tegangan keluaran rangkaian.

B. Komponen

2.4 Dioda MUR 1560

Dioda merupakan komponen aktif yang memiliki fungsi untuk menghantarkan arus listrik ke satu arah dan menghambat arus listrik dari arah yang sebaliknya. Pada rangkaian *Three Phase Rectifier*, fungsi utama dioda penyearah adalah sebagai penyearah arus yang mengubah arus listrik bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC)

TABEL 2.4
SPESIFIKAS DIODA MUR 1560

| | |
|---|------|
| V_{RRM} (Peak Repetitive Reverse Voltage) | 600V |
| V_{RWM} (Working Peak Reverse Voltage) | |
| V_R | |
| $I_{F(AV)}$ (Average Rectified Forward Current) | 15A |
| I_{FRM} (Peak Rectified Forward Current) | 30A |
| t_{RR} (Maximum Reverse Recovery Time) | 60ns |

2.5 DC-DC Boost Converter 400W

Konverter step-up boost adalah jenis rangkaian elektronik yang dapat meningkatkan tegangan sumber listrik DC. Konverter penguat step-up bekerja dengan menggunakan transistor switching untuk mengisi kapasitor penyimpanan ke tegangan yang lebih tinggi dari tegangan masukan, dan kemudian melepaskan kapasitor melalui transformator untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dari tegangan masukan.

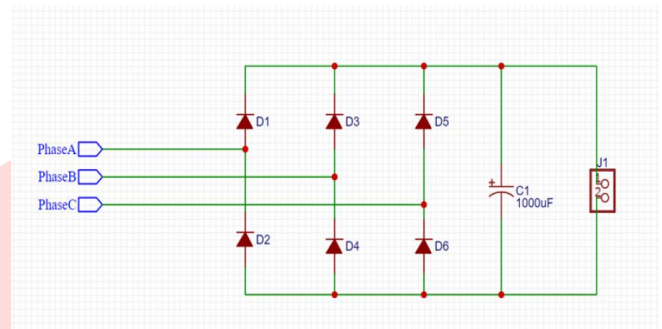
TABEL 2.5
SPESIFIKAS DC-DC BOOST CONVERTER 400W

| | |
|---------------------|---------------|
| Input Voltage | 8,5V-50V (DC) |
| Input Current | 15A |
| Output Voltage | 10V-60V (DC) |
| Operating Frequency | 150KHz |

III. METODE

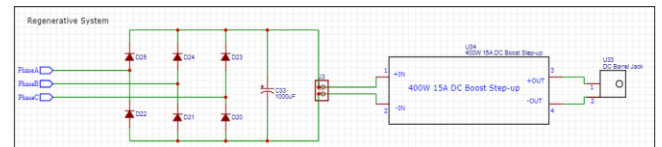
A. Rangkaian Sistem

3.1 Three Phase Rectifier



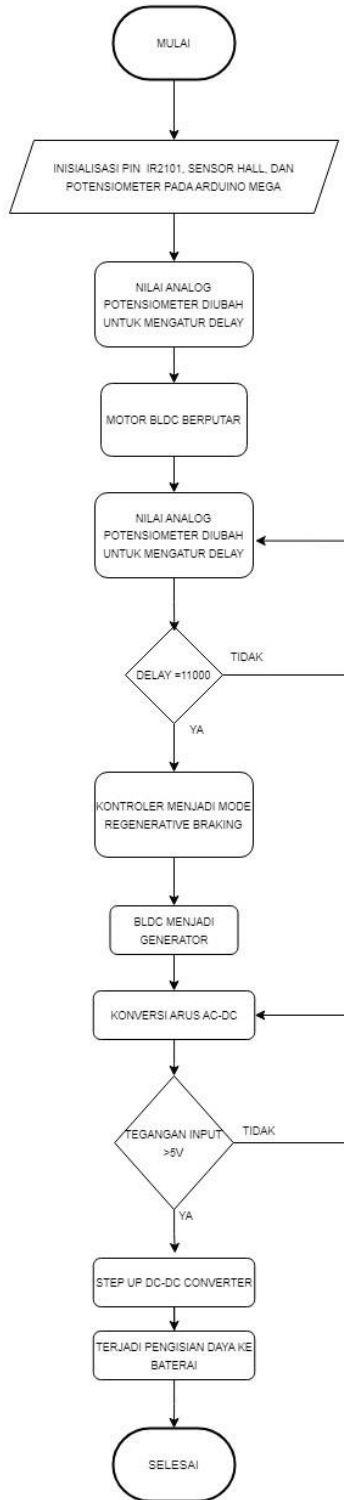
Gambar 3.1 Rangkaian *Three Phase Rectifier*

3.2 Rangkaian Integrasi Sistem



Gambar 3.2 Rangkaian Integrasi Sistem

B. Flowchart



Gambar 3.3 Flowchart sistem Regenerative Braking System

Regenerative Braking System bekerja dengan memanfaatkan energi yang terbuang saat motor BLDC tidak lagi menerima input atau supply listrik. Ketika hal itu terjadi, rangkaian dalam kontroler akan menjadi mode Regenerative Braking. Lalu arus AC hasil dari motor BLDC yang berperan sebagai

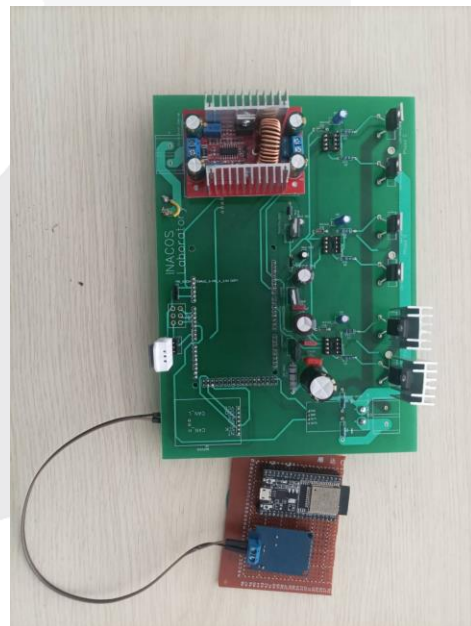
generator mengalir ke rangkaian Three Phase Rectifier. Rangkaian tersebut berperan dalam mengubah arus AC menjadi arus DC. Arus yang telah terkonversi menjadi DC akan di step up menggunakan DC-DC Boost Converter agar memiliki tegangan yang cukup untuk melakukan pengisian daya kepada baterai utama. Regenerative Braking akan terus berjalan apabila terdapat input voltase yang sesuai untuk dapat di step up oleh Boost Converter.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain Sistem



Gambar 4.1 Desain PCB tampak bawah



Gambar 4.2 Desain PCB tampak atas

Gambar 4.1 merupakan desain PCB tampak bawah tempat terletaknya rangkaian Three Phase Rectifier. Sedangkan pada

gambar 4.2 merupakan desain PCB tampak atas tempat terletaknya modul DC-DC *Boost Converter* 400W.

B. Kalibrasi

- Langkah-langkah kalibrasi

Pada tahapan ini dilakukan pengujian rangkaian *Three Phase Rectifier* dengan menggunakan osiloskop untuk melakukan pengecekan terhadap gelombang *output*.

Tahapan-tahapan :

- Menghubungkan komponen-komponen yang dibutuhkan sesuai gambar *wiring* diagram pada Gambar 3.1
- Memberikan daya (arus dan tegangan) 3 fasa terhadap rangkaian.
- Menghubungkan *probe* osiloskop kepada *output* serta *ground* rangkaian untuk melakukan pengecekan gelombang.

- Hasil kalibrasi



Gambar 4.2 Hasil pengujian *Three Phase Rectifier* dengan kapasitor



Gambar 4.3 Hasil pengujian *Three Phase Rectifier* tanpa kapasitor

Pengujian dengan kapasitor akan menghasilkan *output* tegangan yang lebih stabil dibandingkan dengan pengujian tanpa kapasitor.

C. Pengujian

- Langkah-langkah pengujian
 -) Melakukan pengecekan kepada rangkaian PCB sistem.
 -) *Upload code* kepada mikrokontroler.
- Kodingan :

```
int r_en = 2;
int l_en = 3;

//Use PWM pins
int r_pwm = 5;
int l_pwm = 6;

void setup()
{
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
}

void loop()
{
  //To enable forward and backward
  digitalWrite(r_en, HIGH);
  digitalWrite(l_en, HIGH);

  //RPM in forward and backward
  analogWrite(r_pwm, 127);
  analogWrite(l_pwm, 0);
}
```

Gambar 4.4 Kodingan pengujian

-) Berikan daya kepada motor DC yang dihubungkan dengan motor BLDC, sehingga motor BLDC melakukan putaran akselerasi (pergerakan).
-) Setelah motor BLDC berputar, BLDC akan menghasilkan BEMF yang akan dikonversi menjadi tegangan DC untuk mengisi daya kembali ke baterai utama.

- Hasil pengujian

Tabel 4.1 Pengujian 1 *Regenerative Braking System*

| RPM | Waktu ke- (menit) | V _{in} (V) | V _{out} (V) | I _{out} (A) | P _{out} (W) |
|-----|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 70 | 0 | 0 | 37,3 | 0 | 0 |
| 70 | 1 | 6,89 | 37,3 | 0,12 | 4,476 |
| 70 | 2 | 6,84 | 37,3 | 0,12 | 4,476 |
| 70 | 3 | 6,82 | 37,3 | 0,13 | 4,849 |
| 70 | 4 | 6,80 | 37,3 | 0,13 | 4,849 |
| 70 | 5 | 6,78 | 37,3 | 0,13 | 4,849 |
| 70 | 6 | 6,76 | 37,3 | 0,13 | 4,849 |
| 70 | 7 | 6,75 | 37,3 | 0,14 | 5,222 |
| 70 | 8 | 6,74 | 37,3 | 0,14 | 5,222 |
| 70 | 9 | 6,75 | 37,3 | 0,14 | 5,222 |
| 70 | 10 | 6,76 | 37,3 | 0,14 | 5,222 |
| 70 | 11 | 6,76 | 37,3 | 0,14 | 5,222 |
| 70 | 12 | 6,77 | 37,3 | 0,14 | 5,222 |

Tabel 4.2 Pengujian 2 *Regenerative Braking System*

| RPM | Waktu ke- (menit) | Vin (V) | Vout (V) | Iout (A) | Pout (W) |
|-----|----------------------|---------|-------------|----------|----------|
| 80 | 0 | 0 | 37,3 | 0 | 0 |
| 80 | 1 | 7,01 | 37,4 | 0,33 | 12,342 |
| 80 | 2 | 6,88 | 37,4 | 0,34 | 12,716 |
| 80 | 3 | 6,81 | 37,4 | 0,34 | 12,716 |
| 80 | 4 | 6,75 | 37,4 | 0,35 | 13,09 |
| 80 | 5 | 6,73 | 37,4 | 0,36 | 13,464 |
| 80 | 6 | 6,71 | 37,4 | 0,36 | 13,464 |
| 80 | 7 | 6,70 | 37,4 | 0,37 | 13,838 |
| 80 | 8 | 6,69 | 37,4 | 0,37 | 13,838 |
| 80 | 9 | 6,69 | 37,4 | 0,37 | 13,838 |
| 80 | 10 | 6,68 | 37,4 | 0,37 | 13,838 |
| 80 | 11 | 6,65 | 37,4 | 0,38 | 14,212 |
| 80 | 12 | 6,62 | 37,4 | 0,39 | 14,586 |

voltase yang lebih besar sehingga daya yang mengisi baterai utama ketika pengisian daya kembali dapat lebih besar.

Tabel 4.3 Pengujian 3 *Regenerative Braking System*

| RPM | Waktu ke- (menit) | Vin (V) | Vout (V) | Iout (A) | Pout (W) |
|-----|----------------------|---------|-------------|----------|----------|
| 90 | 0 | 0 | 37,4 | 0 | 0 |
| 90 | 1 | 7,06 | 37,4 | 0,53 | 19,822 |
| 90 | 2 | 6,85 | 37,6 | 0,53 | 19,928 |
| 90 | 3 | 6,72 | 37,6 | 0,54 | 20,304 |
| 90 | 4 | 6,67 | 37,6 | 0,53 | 19,928 |
| 90 | 5 | 6,65 | 37,6 | 0,54 | 20,304 |
| 90 | 6 | 6,65 | 37,6 | 0,54 | 20,304 |
| 90 | 7 | 6,62 | 37,6 | 0,54 | 20,304 |
| 90 | 8 | 6,56 | 37,6 | 0,54 | 20,304 |
| 90 | 9 | 6,53 | 37,6 | 0,54 | 20,304 |
| 90 | 10 | 6,67 | 37,6 | 0,54 | 20,304 |
| 90 | 11 | 6,65 | 37,6 | 0,54 | 20,304 |
| 90 | 12 | 6,65 | 37,6 | 0,55 | 20,68 |

Ketika motor BLDC terputar bebas (tidak ada daya yang masuk ke dalam motor BLDC), motor BLDC akan menghasilkan gelombang *Back EMF* yang mirip dengan gelombang fasa yang digunakan untuk mengatur fasa motor. Gelombang BEMF tersebut berbentuk sinusoidal sebagaimana gelombang yang dibentuk oleh generator pada pembangkit listrik. Besarnya voltase serta arus yang dihasilkan bergantung kepada cepat atau lambatnya RPM dari motor BLDC ketika melakukan putaran bebas. Semakin cepat putaran bebas yang dilakukan oleh BLDC, maka akan menghasilkan arus serta voltase yang lebih besar sehingga daya yang mengisi baterai utama ketika pengisian daya kembali dapat lebih besar.

V. KESIMPULAN

Ketika motor BLDC terputar bebas (tidak ada daya yang masuk ke dalam motor BLDC), motor BLDC akan menghasilkan gelombang *Back EMF* yang mirip dengan gelombang fasa yang digunakan untuk mengatur fasa motor. Gelombang BEMF tersebut berbentuk sinusoidal sebagaimana gelombang yang dibentuk oleh generator pada pembangkit listrik. Besarnya voltase serta arus yang dihasilkan bergantung kepada cepat atau lambatnya RPM dari motor BLDC ketika melakukan putaran bebas. Semakin cepat putaran bebas yang dilakukan oleh BLDC, maka akan menghasilkan arus serta

REFERENCES

- [1] V. S. Thomas, S. Darvesh, C. MacKnight, and K. Rockwood, "Estimating the prevalence of dementia in elderly people: a comparison of the Canadian Study of Health and Aging and National Population Health Survey approaches," *Int Psychogeriatr*, vol. 13 Suppl 1, no. SUPPL. 1, pp. 169–175, 2001, doi: 10.1017/S1041610202008116.
- [2] M. M. Baig and H. Gholamhosseini, "Smart health monitoring systems: an overview of design and modeling," *J Med Syst*, vol. 37, no. 2, Apr. 2013, doi: 10.1007/S10916-012-9898-Z.
- [3] M. M. Alam, H. Malik, M. I. Khan, T. Pardy, A. Kuusik, and Y. le Moullec, "A survey on the roles of communication technologies in IoT-Based personalized healthcare applications," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 36611–36631, Jul. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2853148.
- [4] S. Li, L. da Xu, and X. Wang, "A continuous biomedical signal acquisition system based on compressed sensing in body sensor networks," *IEEE Trans Industr Inform*, vol. 9, no. 3, pp. 1764–1771, 2013, doi: 10.1109/TII.2013.2245334.
- [5] P. Rashidi and A. Mihailidis, "A survey on ambient-assisted living tools for older adults," *IEEE J Biomed Health Inform*, vol. 17, no. 3, pp. 579–590, 2013, doi: 10.1109/JBHI.2012.2234129.