

# Pengaturan Kecepatan Motor DC pada Mobil Listrik Menggunakan Bidirectional Buck-Boost Cascade Converter Berbasis Fuzzy Logic Controller

Muhammad Taufiq Ramadhan, Dedet Chandra Riawan, dan Imam Robandi  
 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
 e-mail: robandi@ee.its.ac.id

**Abstrak**-Penggunaan mobil listrik secara umum terkendala pada beban, kecepatan aktual, serta efisiensi energi. Pemanfaatan Fuzzy Logic Controller untuk pengaturan kecepatan motor DC pada mobil listrik diperlukan untuk meraih kecepatan aktual yang lebih presisi sehingga diperoleh efisiensi energi. Selain itu perlu juga menggunakan *Bidirectional Buck-Boost Cascade Converter* untuk pengaturan motor DC secara bidirectional, yakni pengaturan saat motoring dan saat pengereman regeneratif (*regenerative braking*). Hal ini berdasar pada energi yang terbuang percuma, baik itu rugi elektris maupun rugi mekanis saat pengereman.

**Kata kunci :** bidirectional, electric car, fuzzy logic controller, motor DC.

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan mobil listrik secara umum terkendala pada beban, kecepatan aktual, serta efisiensi energi. Pemanfaatan *Fuzzy Logic Controller* untuk pengaturan kecepatan motor DC pada mobil listrik diperlukan untuk meraih kecepatan aktual yang lebih presisi. Selain itu, menggunakan *Bidirectional Buck-Boost Cascade Converter* untuk pengaturan motor DC secara *bidirectional*, yakni pengaturan saat *motoring* dan saat pengereman regeneratif (*regenerative braking*). Hal ini didasari pada energi yang terbuang percuma, baik itu rugi elektris maupun rugi mekanis saat pengereman [1].

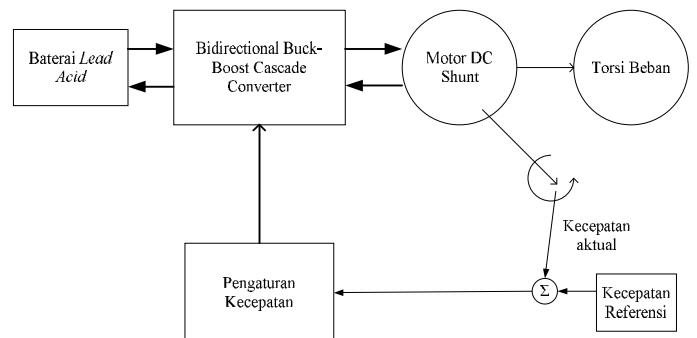
Konverter tersebut di atas menggunakan dua buah kapasitor sebagai perata tegangan akibat *switching* dan sebuah induktor sebagai kopling *H-bridge*. Pada topologi rangkaian konverter, digunakan sakelar elektrik IGBT (*Insulated Gate Bipolar-Junction Transistor*) sehingga dapat dikontrol dengan mudah [2].

Lebih lanjut, converter digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan baterai yang akan menyuplai daya pada motor DC *brush* dalam aplikasi sebagai penggerak mobil listrik. Kinerja converter diamati ketika motor diberi kecepatan pada beban torsi yang bervariasi, dan saat pengereman.

## II. PEMODELAN SISTEM DAN ALGORITMA

### A. Konfigurasi Sistem

Konfigurasi sistem yang ditunjukkan pada Gambar 3 merupakan gambaran sederhana sistem kelistrikan pada penelitian yang dilakukan. Gambar ini berupa baterai, konverter, motor DC *shunt*, torsi beban, kecepatan referensi dan pengaturan kecepatan. Konfigurasi sistem nantinya akan dimodelkan pada perangkat lunak PSIM 9 dan SIMLINK SIMCOUPLER pada MATLAB 2010a.



Gambar 1 Konfigurasi sistem

Pada penelitian ini sumber dari sistem menggunakan baterai *lead acid*. Kapasitas total tegangan nominal yang dihasilkan bernilai 120 Volt. Beban yang digunakan sebuah motor DC penguatan *shunt* dengan daya *output* 10 HP atau 7640 W, *rating* tegangan 240 V. Untuk dapat menyesuaikan *rating* tegangan beban, maka *output* baterai diolah oleh *Bidirectional Buck-Boost Cascade Converter*. Konverter akan menaikkan tegangan ke *rating* 240 V saat *motoring*, dan menurunkan tegangan dibawah *rating* 120 V saat *regenerative braking*.

Penyesuaian nilai tegangan *output* pada konverter dilakukan dengan mengubah nilai *duty cycle* dari *switch* IGBT yang terdapat pada konverter. Nilai *duty cycle* diperoleh dari perhitungan *gain* konverter yang dibutuhkan sistem. Nilai induktor dapat mempengaruhi *ripple* arus pada sistem. Selain itu, penggunaan kapasitor untuk memperhalus nilai tegangan pada beban motor DC.

Beban pada motor merupakan torsi yang memiliki nilai bervariasi. Nilai dan bentuk karakteristik torsi ditentukan pada karakteristik beban mekanis. Motor harus

mampu mempertahankan kecepatan walaupun nilai torsi beban diubah, kecuali pada mode *regenerative braking*. Kecepatan pada mode *regenerative braking* akan berkurang, karena merupakan bagian dari proses perlambatan, torsi beban juga akan bernilai negatif.

Kecepatan aktual motor digunakan sebagai umpan balik dari kontroler *Fuzzy Logic Controller*. Kecepatan referensi dan kecepatan aktual akan dibandingkan sehingga menghasilkan nilai selisih atau *error*. *Error* tersebut selanjutnya akan digunakan sebagai *input* pada kontroler *Fuzzy*. Proses pemberian *error* ini akan terus berlangsung walaupun nilai *error* sudah sangat kecil hingga mencapai kondisi *steady state*. Sinyal *output* *Fuzzy Logic Controller* tersebut akan digunakan sebagai pemicu *switch* IGBT.

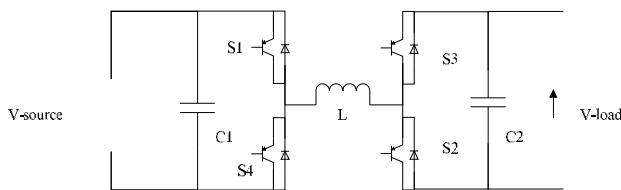
Tabel 1.

Parameter motor DC penguatan shunt

Parameter	Nilai
Output Power	10 HP
Speed Rating	2000 RPM atau 209,44 rad/s
Voltage Rating	240 V
Armature Resistance	1,91 Ω
Armature Inductance	0,01 H
Armature Current Rating	69 A
Field Resistance	100 Ω
Field Inductance	0,02 H
Field Current Rating	2,4 A
Moment of Inertia	4,16 N.m

### B. Pemodelan Bidirectional Buck-Boost Cascade Converter

*Bidirectional Buck-Boost Cascade Converter* dapat beroperasi dengan dua arah yang berbeda. Mode *boost* terjadi ketika motor membutuhkan suplai dari baterai, diasumsikan ketika kendaraan listrik mulai bergerak dari kondisi diam. Sedangkan mode *buck* terjadi ketika terbangkit tegangan dari sisa putaran roda saat turunan tajam dan menyuplai aliran daya ke baterai. Pemodelan rangkaian *Bidirectional Buck-Boost Cascade Converter* tanpa *Fuzzy Logic Controller* dan *Bidirectional Buck-Boost Cascade Converter* dengan *Fuzzy Logic Controller* ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 2 Pemodelan Bidirectional Buck-Boost Cascade Converter

Pada Gambar 4 *switch* S1 merupakan *switch* utama ketika konverter beroperasi *motoring*. Kemudian mengatur *switch* S2 pada mode *boost* atau mengatur *switch* S3 pada mode *buck*.

Saat beroperasi *regenerative braking*, *switch* S3 yang aktif. Kemudian mengatur *switch* S4 pada mode *boost* atau mengatur *switch* S2 pada mode *buck*.

Nilai *gain* pada konverter dapat ditingkatkan dengan semakin memperbesar nilai *duty cycle* dari *switch*. Namun *duty cycle* yang diperbolehkan dari setiap *switch* memiliki batasan tertentu. Batasan ini digunakan agar setiap *switch* tidak mengalami *voltage stress* yang berlebih. *Voltage stress*

merupakan hal yang wajar dari suatu komponen jika beroperasi sampai kondisi saturasi. *Stress* dari setiap *switch* harus dijaga agar tidak mencapai kondisi saturasi. Jika *stress* mencapai nilai saturasi, maka akan mengakibatkan menurunnya kemampuan *switch* dalam beroperasi. *Voltage stress* berkaitan erat dengan frekuensi *switching* yang digunakan. Semakin besar nilai frekuensi menghasilkan *output* tegangan dan arus yang lebih halus, namun kondisi tersebut bertentangan dengan yang terjadi pada *switch*. *Switch* akan bekerja dengan kemampuan ekstra ketika menggunakan frekuensi yang tinggi (diatas 20 kHz), karena waktu saat transien semakin singkat.

*Gain ratio* dan *duty cycle* saat mode *boost* dan mode *buck* pada *Bidirectional Buck Boost Cascade Converter* tanpa *Fuzzy Logic Controller* dapat dituliskan sebagai berikut:

- Mode *boost*

$$Gain = 1 - \frac{D_{cu}}{V_o / V_i} \quad (1)$$

- Mode *buck*

$$Gain = \frac{V_o}{V_i} (1 - D_{cu}) \quad (2)$$

Pemilihan induktansi induktor didasarkan pada rumus perhitungan sebagai berikut :

$$L = \frac{V_{in} \cdot D_{cu}}{f_s \cdot \Delta t_L} \quad (3)$$

Pemilihan kapasitansi kapasitor didasarkan pada rumus perhitungan sebagai berikut :

Kapasitor 1

$$I_{c1} = \Delta I_L \cdot \sqrt{\frac{2D_{cu}+1}{2(1-D_{cu})}} \quad (4)$$

$$C_1 = \frac{1}{V_{c1}} \int_0^{t_{on}} (i_{c1})^2 d_{t_{on}} \quad (5)$$

Kapasitor 2

$$I_{c2} = I_{o1} \cdot \sqrt{\frac{D_{cu}}{1-D_{cu}}} \quad (6)$$

$$C_2 = \frac{1}{V_{c2}} \int_0^{t_{on}} (i_{c2})^2 d_{t_{on}} \quad (7)$$

Parameter seluruh komponen yang digunakan pada *Bidirectional Buck Boost Cascade Converter* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Parameter *bidirectional buck boost cascade converter*

Parameter	Nilai
Kapasitor Sisi Tegangan Rendah	17 mF
Kapasitor Sisi Tegangan Tinggi	148 mF
Induktor	0,84 mH
Frekuensi	20 kHz

### C. Pengaturan Kecepatan

Pada pengaturan kecepatan, sinyal referensi yang digunakan diperoleh dari sinyal DC konstan dengan nilai

tertentu. Sinyal referensi yang digunakan merupakan sinyal tegangan. Kecepatan aktual dari motor DC disensor terlebih dahulu dengan menggunakan blok *gain* yang isinya merupakan persamaan (3.1). Sehingga ketika dibandingkan kedua sinyal tersebut memiliki satuan yang telah sama. Sebelum dibandingkan pada blok *summary* 1, kedua sinyal tersebut memasuki blok *gain* lagi untuk memperkecil nilai amplitudo sinyal. Tujuannya agar kontroler *Fuzzy Logic Controller* lebih mudah mengolah data karena nilai *error* yang dihasilkan memiliki *range* yang semakin kecil. *Error* hasil perbandingan selanjutnya diteruskan ke dua jalur yang berbeda. *Output* blok tersebut akan digunakan sebagai sinyal referensi DC pada *comparator*.

#### D. Logika Fuzzy

##### 1. Fuzzy Inference System (FIS)

Inferensi logika *fuzzy* memiliki kemiripan dengan penalaran manusia. Inferensi *fuzzy* terdiri atas : (1) Pengetahuan (*knowledge*) : melibatkan penalaran *fuzzy* yang dinyatakan sebagai aturan dalam bentuk : IF (jika)  $x$  is  $A$ , THEN (maka)  $y$  is  $B$ ,  $x$  dan  $y$  adalah variabel *fuzzy*,  $A$  dan  $B$  adalah nilai *fuzzy*. Pernyataan pada bagian premis dapat melibatkan penghubung (*connective*) logika AND dan OR. Contoh : IF  $x$  is  $A$  AND  $y$  is  $B$  THEN  $z$  is  $C$ ; (2) Fakta : merupakan input *fuzzy* yang harus dicari inferensi (konklusi) dengan menggunakan aturan *fuzzy*. Input fakta tidak harus sama dengan basis pengetahuan; (3) Konklusi : inferensi yang sepadan (*matched*) parsial diperoleh berdasar fakta *fuzzy* dan basis pengetahuan *fuzzy*.

Metode Mamdani yang sering dikenal dengan metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Ada enam tahapan yang diperlukan untuk mendapatkan output : (1) Variabel input dan output berupa pembentukan himpunan *fuzzy*; (2) Aturan *fuzzy* (*fuzzy rule*); (3) Operasi *membership function* (operator *fuzzy* yang dipakai adalah AND); (4) Aplikasi fungsi implikasi (*implication*), secara umum fungsi implikasi yang digunakan adalah MIN; (5) Komposisi aturan (*Aggregation*); (6) Penegasan (*Defuzzification*) [3].

##### 2. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah proses pemetaan hasil inferensi ke daerah aksi kontrol *nonfuzzy* (*crisp*). Pada implementasi kontrol real time logika *fuzzy*, defuzzifikasi yang digunakan adalah *Center of Area* (COA).

Defuzzifikasi COA menghasilkan pusat gravitasi dari distribusi aksi kontrol yang dinyatakan pada persamaan (8).

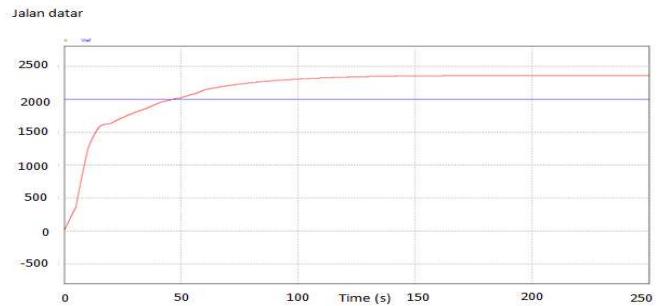
$$z^* = \frac{\sum_{k=1}^m V_k \mu_v(V_k)}{\sum_{k=1}^m \mu_v(V_k)} \quad (8)$$

Variabel  $z^*$ ,  $m$ , dan  $V_k$  didefinisikan sebagai berikut :  $z^*$  adalah nilai output;  $m$  adalah tingkat kuantisasi;  $V_k$  adalah elemen ke- $k$  dan  $\mu_v(V_k)$  adalah *membership degree* elemen pada *fuzzy* set  $v$  [3].

### III. SIMULASI DAN ANALISIS

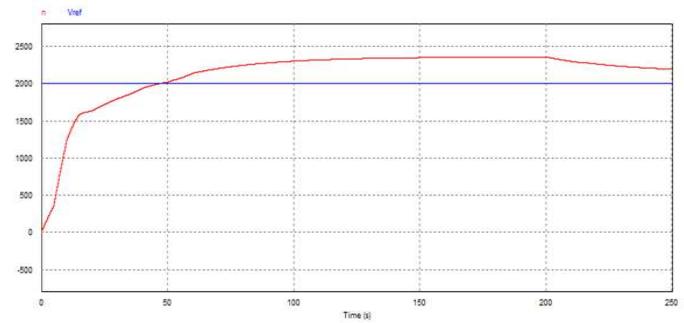
#### A. Simulasi Motoring/ Boost Mode

Simulasi *motoring/ boost mode* pada penelitian ini dilakukan dengan mengatur  $Sw1$  agar *duty cycle* dengan nominal 1,  $Sw3$  agar *duty cycle* dengan nominal 0,  $Sw4$  agar *duty cycle* dengan nominal 0, dan  $Sw2$  agar *duty cycle* diatur sesuai perhitungan untuk mendapatkan tegangan masukan motor. Kemudian mengatur perubahan torsi sedemikian rupa. Hal yang dianalisis dari simulasi ini adalah grafik perubahan torsi, dan kecepatan aktual yang dijaga tetap pada rating 2000 rpm.

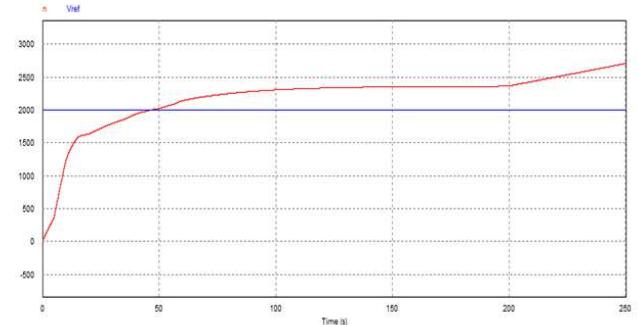


Gambar 3 Kurva kecepatan aktual saat *motoring* kondisi jalan datar

#### B. Simulasi Regenerative Braking



Gambar 4 Kurva kecepatan aktual saat *motoring* kondisi jalan menanjak



Gambar 5 Kurva kecepatan aktual saat *regenerative braking*

Simulasi *regenerative braking/ buck mode* dilakukan dengan mengatur  $Sw3$  agar *duty cycle* konstan pada nominal 1,  $Sw2$  agar *duty cycle* konstan pada nominal 0,  $Sw4$  agar *duty cycle* konstan pada nominal 0, dan  $Sw1$  agar *duty cycle* diatur sesuai perhitungan untuk mendapatkan tegangan masukan

motor. Hal yang dianalisis dari simulasi ini adalah kemampuan sistem dalam mempertahankan kecepatan aktual saat diberi pengereman mendadak, serta mengamati aliran arus dari motor ke baterai sehingga terjadi regeneratif.

#### IV. PENUTUP

##### A. Kesimpulan

Dari hasil simulasi pada pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Kinerja dari *Bidirectional Buck Boost Cascade Converter* dalam mengatur kecepatan motor DC menjaga kecepatan aktual pada sekitar *rating* 2000 rpm, baik dalam kondisi *motoring* maupun dalam kondisi *regenerative braking*.
2. Pada pengujian pengeremanregeneratif, terjadi *charging* walaupun nominal sangat kecil.

##### B. Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah.\

1. Dalam menentukan parameter *Fuzzy Logic Controller* agar memperhatikan logika *switching* pada konverter, sehingga *error* yang dihasilkan sangat kecil dan data yang diperoleh menjadi lebih akurat.
2. Dalam menentukan parameter induktor dan kapasitor perlu berdasarkan pada spesifikasi yang ada di pasaran sehingga mudah untuk diaplikasikan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya haturkan kepada berbagai pihak yang telah member bantuan dan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir, terutama kepada kedua orang tua dan kerabat yang telah memberikan doa, motivasi, bimbingan, dan nasehat dalam pengerjaan Tugas Akhir. Tak lupa saya ucapkan banyak terima kasih kepada bapak Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT. Dan bapak Dedet Candra Riawan, St., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu dan kesempatan dalam member bimbingan serta pengarahan hingga Tugas Akhir selesai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]Zuhal, "Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1993.
- [2]Caricchi, F., Crescimbini, F., "Study of Bi-Directional Buck-Boost Converter Topologies for Application in Electrical Vehicle Motor Drives", IEEE, 1998.
- [3]Agus Dharma, Disertasi "Peramalan Beban Jangka Pendek untuk Hari-Hari Khusus Menggunakan *Interal Type-2 Fuzzy Inference System* (Studi Kasus di pulau Bali)".