

SIMULASI PENINGKATAN EFISIENSI PENGGUNAAN DAYA PADA SISTEM MOBIL LISTRIK BERPENGGERAK MOTOR DC DENGAN MENGGUNAKAN LOGIKA KABUR (*FUZZY LOGIC*)

Hery Tri Waloyo¹, Muhammad Nizam², Moh Dimyadi³

¹Mahasiswa Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

³Mahasiswa Program Magister Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

Fuzzy logic
Energy efficiency
Electric car control system

Abstract :

The energy crisis and environment has been the central issues that concern in the developed and developing countries. One of the biggest contributor sectors was in transportation field. Manufacture of electric cars was important, in order to solve that problem. The aim of this research was to investigate power efficiency usage in electric car controlled system which is operated with DC motor by using fuzzy logic. The simulations were done to compare the performance of electric dc motor, by applying a method of conventional and fuzzy logic in term of the current usage, the speed and performance index of dc motor. The result showed the control by using fuzzy logic in the current produce has better response than conventional method in the start-up current, speed and acceleration. In the performance index comparison showed the fuzzy logic has also better than conventional. It can be concluded that by using the fuzzy logic control can be reduced the energy usage in electric car system.

PENDAHULUAN

Krisis energi dan isu lingkungan merupakan isu sentral yang menjadi perhatian negara maju maupun berkembang. Salah satu sektor penyumbang krisis energi terbesar adalah bidang transportasi. Kesadaran lingkungan dan dampak krisis energi menjadikan trend penelitian bidang transportasi mengarah pada penggunaan energi listrik sebagai pengganti sumber energi fosil yang semakin menipis ketersediaannya. Beberapa kelemahan penggunaan teknologi listrik ini adalah efisiensi yang masih rendah, terutama apabila mobil ini dalam keadaan mulai berjalan atau menambah kecepatan. Untuk itu diperlukan teknologi yang dapat mengatasi penggunaan energi listrik pada waktu berjalan ini, sehingga penggunaan energi baterai bisa lebih efisien.

Penggerak yang banyak digunakan untuk kendaraan listrik adalah motor DC. Pemilihan motor DC ini disebabkan karena kemudahan didalam pengaturan kecepatannya dan perawatan. Namun demikian motor DC ini jarang memiliki ukuran yang besar. Untuk itu sebagai langkah awal riset ini adalah penggunaan simulasi untuk mengetahui seberapa peningkatan efisiensi penggunaan daya listrik dapat dilakukan dengan menggunakan pengaturan logika kabur. Dengan menggunakan simulasi biaya riset dapat ditekan sehingga membuat prototipe atau model dapat dibuat dengan biaya murah dapat dilakukan dengan mudah.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja motor pada industri. Atanassov (2009) melakukan penelitian mengenai

peningkatan kinerja Coding Line Conveyor system (CLC) yang merupakan bagian utama yang digunakan pada proses pengelompokan paket kiriman yang digunakan pusat logistik Swiss. Pada kondisi normal tanpa menggunakan kontroler, koveyor berjalan dengan kecepatan tetap. Logika fuzi melakukan pengaturan kecepatan belt. Jika didapatkan data alamat tujuan paket kiriman sama atau saling berdekatan, kontrol kecepatan akan diatur oleh logika kabur. Dengan menggunakan kontrol logika kabur didapatkan peningkatan kapasitas pengiriman.

Valera dkk. (2009) menjelaskan mengenai arsitektur dan metodologi perancangan sistem/komponen berbasis *virtual modeling*. Simulasi memberikan kesempatan penggantian perangkat keras seperti yang sesungguhnya. Hasilnya adalah dengan menggunakan perancangan berbasis *virtual modeling* mengurangi untuk mengurangi waktu pengembangan dari rata-rata 3 tahun menjadi hanya 12 bulan dan juga meningkatkan kualitas hasil perancangan secara keseluruhan.

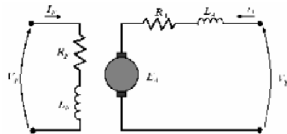
Chetouane dkk. (2010) melakukan penelitian untuk membandingkan kinerja kontrol logika kabur dan kontrol PID pada sistem inverted gyroscopic pendulum (GIP). Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi dengan menggunakan software MATLAB untuk mendapatkan data respon sistem pendulum. Logika kabur yang digunakan menggunakan 49 rule (aturan). Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kontrol kabur memiliki kelebihan karena kestabilan dan responnya yang cepat.

Pada mobil listrik penggunaan kecerdasan buatan ini belum banyak digunakan. Tujuan dari riset ini adalah membuat simulasi peningkatan penggunaan daya dalam sistem mobil listrik dengan menggunakan logika kabur. Pada makalah ini dipaparkan simulasi pengaturan penggunaan daya pada motor DC penggerak mobil listrik dengan membandingkan kinerja kontrol menggunakan logika kabur dan kontrol konvensional dari segi efisiensi penggunaan energi listrik.

DASAR TEORI

Motor DC

Motor DC merupakan mesin yang merubah energi listrik menjadi energi gerak. Bagian utama Motor DC adalah rotor dan stator yang masing masing memiliki kuat magnet yang dapat diatur dengan mengatur besarnya listrik yang dialirkan pada kumparan. Skema rangkaian motor DC dapat diekivalenkan dengan rangkain sederhana seperti tampak pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Ekivalen motor DC

Teknik Pengaturan

Untuk mendapatkan pengaturan yang maksimal diperlukan pengaturan kecepatan motor DC yang baik. Penggunaan bantuan komputer adalah alternatif yang banyak digunakan. Perkembangan teknologi saat ini memerlukan sistem yang adaptif dan berdasarkan keadaan sistem saat itu. Salah satu yang digunakan adalah sistem pengaturan kecepatan dengan menggunakan kaidah kecerdasan buatan. Dalam kecerdasan buatan, metode yang sering digunakan untuk pengaturan ini adalah menggunakan logika kabur (*fuzzy logic*). Logika kabur merupakan metode pengaturan yang terinspirasi oleh cara berfikir manusia yang memiliki tingkat toleransi terhadap banyak hal. Pengaturan fuzzy sangat baik digunakan pada sistem yang memiliki fleksibilitas yang tinggi karena keakuratannya dalam pengambilan keputusan (Kuswadi, 2007).

Logika kabur merupakan perkembangan dari logika boolean yang hanya mengenal benar atau salah (*crisp*). Dalam logika kabur dikenal dengan nilai relatif yang nilainya antara nol hingga satu (Naba, 2009). Tahap penyusunan logika kabur adalah:

- Menentukan variabel input dan output
- Menentukan derajat keanggotaan input dan output
- Penyusunan aturan logika kabur

Dalam menyelesaikan suatu perintah, logika kabur diterapkan dengan langkah (Guillemin, 1996) sebagai berikut :

- Fuzifikasi input dan output
- Pengambilan keputusan dengan logika kabur
- Defuzifikasi

Dalam implementasinya, signal yang keluar dari logika kabur yang telah diolah diteruskan pada hardware pengaturan menggunakan IGBT. IGBT memiliki kelebihan untuk pengaturan kontrol kecepatan karena memiliki kestabilan dan dapat digunakan pada frekuensi tinggi. Metode pengaturan kecepatan menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) yakni besar kecilnya kecepatan motor ditentukan oleh lebar pulsa yang dihasilkan IGBT (Guillemin, 1996).

Perhitungan Energi Gerak

Dalam dinamika gerak lurus terdapat energi yang bekerja pada sebuah benda yakni E_k . Benda yang bergerak secara konstan berarti memiliki usaha yang digunakan untuk melawan gaya gesek yang dirumuskan pada persamaan (1)

$$F_r = \mu_r N \quad (1)$$

dimana:

- F_r : Gaya gesek gelinding
- μ_r : Koefisien gesek gelinding
- N : Gaya normal atau sama dengan berat benda

Pada pengaturan motor DC data kecepatan putaran motor dapat digunakan untuk menghitung energi kinetik yang digunakan. Energi kinetik yang dihasilkan oleh motor DC dapat dihitung dari selisih kuadrat kecepatan (Young, dkk. 2002) sebagaimana disajikan pada persamaan (2)

$$E_k = \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) \text{ joule} \quad (2)$$

Perhitungan Energi Listrik

Motor DC membutuhkan listrik untuk menghasilkan kerja. Listrik mengalir karena adanya beda potensial dari dua titik. Energi listrik dapat dihitung dari pengukuran arus dan tegangan yang bekerja pada suatu alat. Energi listrik (P) adalah perkalian tegangan, arus dan waktu sebagaimana disajikan pada persamaan (3).

$$P = v \cdot i \cdot t \quad \text{watt} \quad (3)$$

dimana:

- v : tegangan (volt)
- i : arus listrik (amper)
- t : waktu (detik)

Untuk melihat efisiensi atau perancangan secara umum dilakukan dengan membuat simulasi. Simulasi dengan menggunakan software sangat penting bertujuan untuk mengetahui penghematan dengan hasil yang didapat telah mendekati kondisi real. Dengan menggunakan simulasi akan banyak menghemat biaya dan waktu tetapi hasil yang didapatkan akurat.

Index Konsumsi Energi

Efisiensi motor listrik adalah perbandingan antara energi yang dihasilkan dan energi yang digunakan. Motor DC membutuhkan listrik untuk menghasilkan gerak. Energi yang dihasilkan dihitung dari Energi Kinetik (E_k). Energi yang dibutuhkan dihitung dari energi listrik (p) yang digunakan sehingga efisiensi motor listrik dapat dihitung yang disajikan pada persamaan (4)

$$Index = \frac{E_k}{P} = \frac{\frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)}{v.i.t} \quad (4)$$

Simulasi dilakukan memanfaatkan software Simulink MATLAB. Pada pengaturan, sinyal kontrol dihasilkan dari pengaturan logika kabur. Data yang telah diolah ditampilkan dalam bentuk grafik dan dari analisa grafik efektifitas penggunaan logika fuzi untuk proses pengaturan.

METODOLOGI PENELITIAN

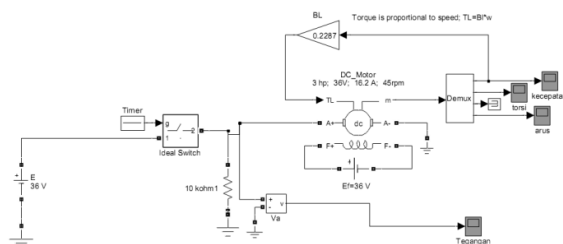
Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan respon sistem terhadap pengaturan yang dilakukan menggunakan logika kabur. Selanjutnya hasil pengaturan dengan logika kabur ini dibandingkan dengan pengaturan kecepatan yang tidak menggunakan logika kabur (konvensional). Untuk mengetahui besarnya tingkat efisiensi motor DC dilakukan dengan membandingkan data energi yang digunakan dengan energi yang dibutuhkan. Energi yang dihasilkan dihitung dari kecepatan yang diukur sehingga diolah dan didapatkan Energi kinetik dari Motor tersebut. Energi yang digunakan motor DC adalah data arus yang digunakan. Arus dapat diukur dari sumber tegangan sehingga didapatkan besarnya daya dikalikan dengan waktu menjadi energi listrik.

Simulasi

Pada simulasi, peralatan yang digunakan terdiri dari simulator Motor DC, kontrol logika kabur, IGBT dan alat monitoring:

1.1. Motor DC

Motor DC yang digunakan dalam simulasi memiliki spesifikasi 36 volt-DC. Rangkaian rotor dan stator masing – masing diberi sumber tegangan 36 volt-DC. Simulasi motor DC dapat digambarkan sebagaimana Nampak pada gambar 2. Data yang dapat diambil diantaranya arus, kecepatan dan torsi.

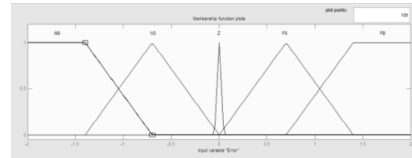


Gambar 2. Simulasi Motor DC

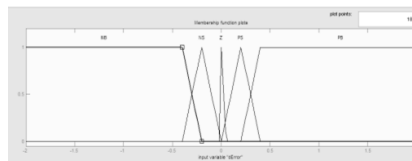
1.2. Kontrol logika kabur

Penyusunan kontrol logika kabur diawali dengan menyusun derajat keanggotaan bagi input dan

output. Input1 (*Error*) merupakan besarnya selisih nilai referensi yang diberikan dengan kecepatan yang terukur. Input2 (*dError*) adalah besarnya perubahan error yang terjadi setelah mendapat tambahan arus. Fungsi keanggotaan dari kedua input terdiri dari NB (Negatif Big), NS (Negatif Small), Z (Zero), PS (Positif Small), PB (Positif Big). Nilai derajat keanggotaan dari masing – masing seperti terlihat dalam gambar 3 dan gambar 4.

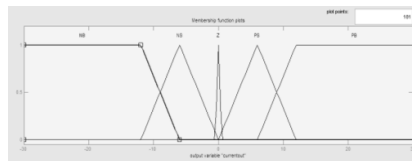


Gambar 3. Derajat keanggotaan Input1 (*Error*)



Gambar 4. Derajat keanggotaan Input2 (*dError*)

Fungsi keanggotaan Output (*dCurrent*) adalah besarnya penambahan arus yang diberikan untuk mencapai kecepatan yang diinginkan. Fungsi keanggotaan output terdiri dari NB (Negatif Big), NS (Negatif Small), Z (Zero), PS (Positif Small), PB (Positif Big) dengan derajat keanggotaan seperti terlihat pada gambar 5.



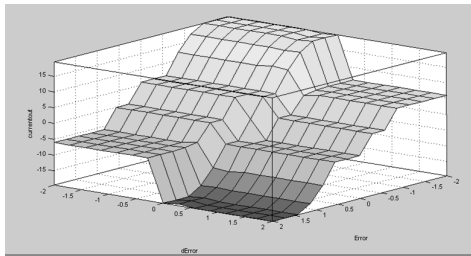
Gambar 5. Derajat keanggotaan Output (*dCurrent*)

Dari fungsi keanggotaan dan derajat keanggotaan disusun aturan logika kabur. Penyusunan aturan logika kabur dilakukan orang yang memiliki pengalaman atau ahli pada bidangnya. Penyusunan aturan fuzi dilakukan dengan aturan seperti nampak pada gambar 6.

1. If (Error is Z) and (dError is NS) then (currentout is PS) (1)
2. If (Error is Z) and (dError is Z) then (currentout is Z) (1)
3. If (Error is Z) and (dError is PS) then (currentout is NS) (1)
4. If (Error is PS) and (dError is NS) then (currentout is Z) (1)
5. If (Error is PS) and (dError is Z) then (currentout is NS) (1)
6. If (Error is PS) and (dError is PS) then (currentout is NS) (1)
7. If (Error is NS) and (dError is NS) then (currentout is PS) (1)
8. If (Error is NS) and (dError is Z) then (currentout is PS) (1)
9. If (Error is NS) and (dError is PS) then (currentout is Z) (1)
10. If (Error is NB) and (dError is Z) then (currentout is PB) (1)
11. If (Error is PB) and (dError is Z) then (currentout is NB) (1)
12. If (Error is NB) and (dError is PS) then (currentout is PS) (1)
13. If (Error is PB) and (dError is PS) then (currentout is NB) (1)
14. If (Error is NB) and (dError is NS) then (currentout is PB) (1)
15. If (Error is PB) and (dError is NS) then (currentout is NS) (1)
16. If (Error is NB) and (dError is PB) then (currentout is PS) (1)
17. If (Error is PB) and (dError is PB) then (currentout is NB) (1)
18. If (Error is NB) and (dError is NB) then (currentout is NS) (1)
19. If (Error is NB) and (dError is NB) then (currentout is PB) (1)
20. If (Error is PS) and (dError is PB) then (currentout is NS) (1)
21. If (Error is Z) and (dError is PB) then (currentout is NS) (1)
22. If (Error is Z) and (dError is NB) then (currentout is PS) (1)
23. If (Error is NS) and (dError is NB) then (currentout is PS) (1)

Gambar 6. Aturan fuzzy

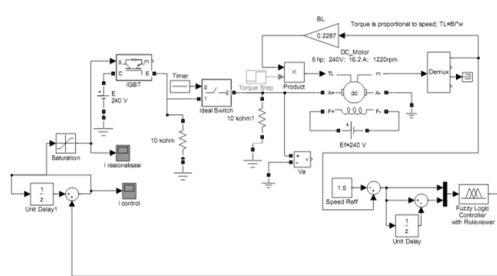
Aturan logika kabur yang telah disusun dapat ditinjau secara grafis membentuk *Rule Surface* sebagai gambaran kinerja dari aturan yang disajikan pada gambar 7.



Gambar 7. Fuzzy Rule Surface

1.3.Kontrol kecepatan

Kontrol kecepatan dilakukan dengan pengaturan arus menggunakan IGBT dengan input pengaturan dari logika kabur yang dapat kita lihat pada gambar 8.



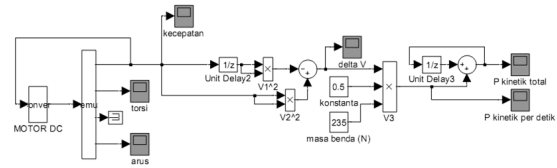
Gambar 8. Control fuzzy

Pengaturan kecepatan dilakukan dengan pengaturan PWM berdasarkan masukan data berupa kecepatan referensi yang diberikan oleh operator. Sensor kecepatan mendapatkan data kecepatan motor pada saat t detik dan membandingkannya dengan nilai referensi. Besarnya Error adalah selisih kecepatan pada saat t detik dan kecepatan referensi. Besarnya dError adalah selisih dari kecepatan pada saat t detik dan t-1 detik. Data Error dan dError masuk pada pengaturan logika kabur sehingga didapatkan keluaran berupa penambahan arus yang harus diberikan. Langkah pengaturan kecepatan dilakukan untuk t = 0 hingga tak hingga. Signal

keluaran diterima oleh IGBT sehingga melakukan kerja berupa pengaturan kecepatan.

1.4.Energi Kinetik

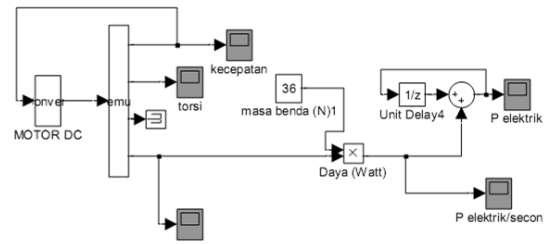
Motor DC bekerja merubah energi listrik menjadi gerak. Data kecepatan putaran mesin dapat kita peroleh sehingga dapat digunakan sebagai analisa dengan menggunakan persamaan energi kinetik dari energi yang keluar seperti ditunjukkan dengan persamaan (2). Pada simulasi motor DC dilengkapi keluaran data kecepatan putaran motor, dengan melakukan pengolahan didapatkan besarnya energi kinetik Perhitungan energi kinetik dalam simulasi dilakukan dengan membuat secara skematis seperti tampak pada gambar 9.



Gambar 9. Perhitungan energi kinetik dalam simulasi

1.5.Energi Listrik

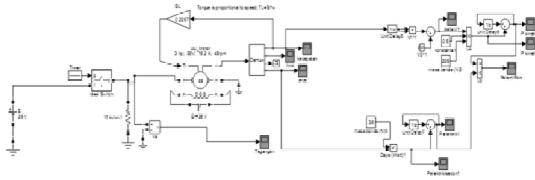
Sumber tenaga atau energi yang digunakan untuk bergerak motor DC berasal dari beda potensial yang disimpan dalam baterai. Untuk menghitung besarnya konsumsi energi motor DC dilakukan dengan mengalikan tegangan dengan arus seperti pada persamaan 1. Data arus dan tegangan kerja Motor DC telah tersedia sehingga dengan mudah dapat dihitung berapa energi listrik yang dibutuhkan seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Perhitungan energi listrik dalam simulasi

1.6.Efisiensi Motor

Perhitungan efisiensi motor DC dihitung dengan membagi energi yang dihasilkan dibanding energi yang dikonsumsi seperti pada persamaan (4). Besarnya energi yang dihasilkan atau energi kinetik dan besarnya energi yang dikonsumsi atau energi listrik telah dihitung dengan membuat skema sebelumnya dan secara lengkap perhitungan efisiensi motor DC tampak pada gambar 11.



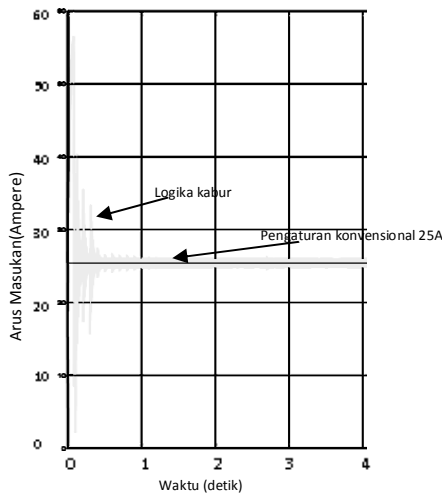
Gambar 11. Efisiensi EK/EP

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menganalisis efisiensi motor DC tiga grafik yang digunakan yakni grafik Arus yang digunakan untuk menggerakkan motor DC, grafik kecepatan serta grafik efisiensi motor DC. Tampilan diberikan dengan meletakkan kedua grafik simulasi pada sebuah layar agar lebih mudah untuk membandingkan antara pengaturan secara konvensional dan dengan logika kabur.

1.1 Arus

Untuk motor tanpa pengaturan, arus listrik diatur pada besaran 25A. Gambar 6 menunjukkan grafik arus dengan pengaturan logika kabur dan konvensional. Dari grafik terlihat bahwa pengaturan logika kabur menyebabkan terjadi ripple pada arus yang diberikan ke motor. Pada detik awal arus yang dikonsumsi lebih besar dibanding pengaturan manual. Hal ini menandakan logika kabur mempunyai respon yang cukup cepat terhadap torsi awal yang diperlukan agar motor dapat mencapai keadaan operasional yang diharapkan. Selain itu keadaan osilasi awal ini berlaku sebentar (< 0.5 detik) sehingga dampak penggunaannya juga tidak signifikan.

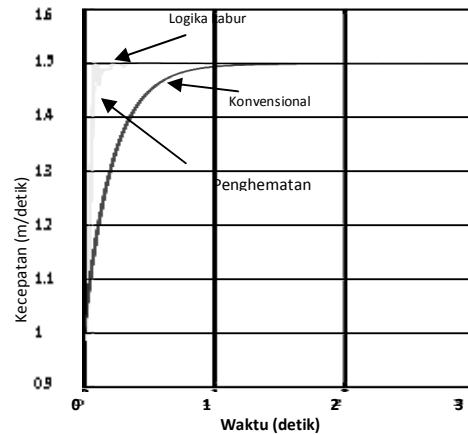


Gambar 6. Perbandingan respon arus

1.2 Kecepatan

Gambar 7 menampilkan grafik perbandingan kecepatan antara konvensional dengan logika kabur. Dengan melihat grafik dapat lebih tergambar kondisi sistem yang sedang diamati. Respon kecepatan motor pada pengaturan logika kabur lebih cepat dibanding tanpa pengaturan. Untuk mencapai nilai setting poin kecepatan pada sistem dengan

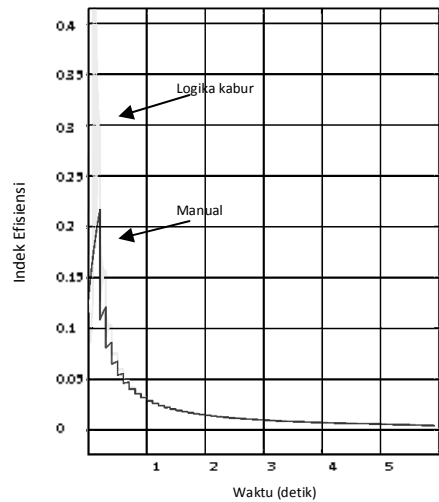
pengaturan dengan logika kabur memerlukan waktu 0.2 detik dan 1.3 detik untuk sistem konvensional. Hal menandakan tenaga yang dihasilkan dari pengaturan logika kabur lebih cepat dan lebih kuat dibandingkan dengan konvensional. Mobil listrik pada waktu digunakan tidak lepas dari menekan pedal kecepatan pada waktu digunakan, sehingga keadaan ini apabila dilakukan berulang kali akan dapat menghemat bahan bakar. Terutama karena respon yang cepat untuk mencapai kecepatan yang diharapkan. Dari energi yang digunakan dapat disimpulkan menggunakan logika kabur dengan energi yang sama dapat dihasilkan akselerasi yang lebih cepat dibandingkan dengan pengaturan konvensional.



Gambar 6. Kecepatan

1.3 Efisiensi Motor

Dari pengolahan data dan simulasi tampilan indeks perbandingan efisiensi antara Motor DC yang diatur secara konvensional dengan logika kabur. Parameter yang dibandingkan adalah rasio antara energi yang dihasilkan tingkat konsumsi energi yang dibutuhkan seperti yang terlihat pada gambar 7.



Gambar 6. Efisiensi motor DC

Pada gambar 7 terlihat pada awal waktu kontrol logika kabur menghasilkan indeks efisiensi lebih besar dibanding dengan konvensional. Hal ini berarti pada awal kecepatan (dari posisi diam) dengan logika kabur menghasilkan energi kinetik yang lebih besar dibandingkan dengan konvensional. Keadaan ini disebabkan karena kecepatan yang dihasilkan logika kabur lebih besar dibandingkan konvensional. Semakin lama indeks semakin kecil, yang berarti percepatannya menjadi kecil. Dengan keadaan ini penggunaan logika kabur akan semakin meningkatkan efisiensi motor DC terutama pada waktu terjadi perubahan kecepatan yang semakin besar.

KESIMPULAN

Dari simulasi dapat diambil kesimpulan bahwa kontrol dengan menggunakan logika kabur secara menghasilkan respon arus yang cukup baik untuk perubahan *starting-up* motor, respon kecepatan yang lebih baik dan akselerasi yang lebih baik dibandingkan dengan pengaturan konvensional. Hal ini membawa dampak untuk penggunaan bahan bakar listrik yang sama akan menghasilkan reson yang lebih baik terutama dalam peningkatan efisiensi motor penggerak pada mobil listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Naba, A. 2009. "Belajar Cepat FUZZY Logic Menggunakan MATLAB". Yogyakarta: ANDI OFFSET
- Valera, J.J., Iglesias, I., Pena., A., Martin A. dan Sanchez, J., 2009. *Integrated Modeling Approach for Highly electrified HEV. Virtual Design and Simulation Methodology for Advanced Powertrain Prototyping*. World Electric Vehicle Journal Vol. 3 ISSN 2032-6653.
- Chetouane, F., Darenfed, S. dan Singh P.K. 2010. "Fuzzy Control of a Gyroscopic Inverted Pendulum". Engineering Letter 18:1, EL_18_1_02
- Assanov, A. 2009. *Controlling the Speed of a Coding Line Conveyor Using Fuzzy Logic* Cybernetics And Information Technologies Vol.9, No.3, Bulgarian Academy Of Sciences
- Kuswadi, Son. 2007. "Kendali Cerdas, Teori dan Aplikasi Praktisnya" Yogyakarta: ANDI OFFSET
- Young H.D., Freedman, R.A., Sandin T.R, dan Ford A.L. 2002 "FISIKA UNIVERSITAS JILID 1" Jakarta: Erlangga
- Guillemin, Pierre. 1996. "Fuzzy Logic Applied to Motor Control" IEE Transaction on Industry Application Vol.32 No.1