

## Perhitungan Energi Kinetik Pada Sistem Pengereman Regenerative Mobil Listrik

Triwahju Hardianto<sup>1</sup>, Hari Sutjahjono<sup>2</sup>, Hari Arbiantara<sup>2</sup>, M. E. Ramadhan<sup>2</sup>

\*Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember, Jl Kalimnatan 37 Jember 68121 Indonesia

\*\*Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember, Jl Kalimnatan 37 Jember 68121 Indonesia

E-mail: [triwahju@gmail.com](mailto:triwahju@gmail.com)

### Abstrak:

Penelitian ini adalah tahap awal dari pelaksanaan penelitian mengenai system pengereman regenerative mobil listrik Universitas Jember. Aplikasi system pemulihan energi menggunakan energi kinetic pada mobil listrik pada saat melakukan pengereman. Aplikasi KERS (*Kinetic Energy Recovery System*) diharapkan dapat memperbaiki performa system penyimpanan energi listrik dan meningkatkan jarak tempuh mobil listrik dengan adanya system regenerative pada system pengisian baterai sebagai hasil bangkitan dari system pengereman. Sistem pengereman regeneratif yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan membuat *prototype* yang terdiri atas tiga komponen utama yakni CVT (*continuously variable transmission*), *flywheel* dan *clutch*. Data yang diperoleh pada hasil percobaan menunjukkan hubungan parameter-parameter yaitu kecepatan roda mobil, kecepatan *flywheel* dan durasi putaran pada saat dilakukan pengereman. Pada salah satu hasil pengambilan data diperoleh data kecepatan roda sebesar 680 rpm, kecepatan *flywheel* 128 rpm dengan durasi putaran *flywheel* setelah pengereman adalah 21,42 detik.

**Kata Kunci :** KERS, CVT, Flywheel

### *First Study Eksperimental of Kinetic Energy Recovery System for Braking at Electric Car*

**Abstrack :** *This research is early step of the research developing on regenerative breaking system of Jember University electric car. This research focuses on the energy recovery system application using kinetic energy on electrical while do breaking. Application of KERS (Kinetic Energy Recovery System) is expected to improve the performance of electrical energy storage systems and increase the mileage of electric cars with regenerative system on the battery charging system. The regenerative braking system in this research is to create a prototype system that consists of three main components namely CVT (continuously variable transmission), flywheel and clutch. Data obtained on the experimental results showed that the relationship parameters i.e. car wheel speed, the flywheel speed and duration of the flywheel during braking. At one of the results of data is obtained wheel speed data of 680 rpm, speed flywheel of 128 rpm with duration of flywheel rotation after braking of 21.42 seconds.*

**Keywords :** KERS, CVT, Flywheel

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan mobil listrik saat ini berlangsung sangat pesat. Hal ini sebagai akibat dari cadangan bahan bakar minyak (BBM) yang mulai menipis dan keinginan untuk menciptakan lingkungan ramah melalui penurunan emisi gas buang. Namun dalam prosesnya, mobil listrik memiliki beberapa kendala. Kendala tersebut adalah pada sistem pengereman dan sistem pengisian baterai. Sistem pengereman pada mobil listrik tidak menggunakan bantuan mesin (Engine braking), sehingga beban pada *lining brake* dan roda menjadi meningkat. Sedangkan kendala pada sistem pengisian baterai adalah belum adanya proses

*regeneratif charging* pada baterai yang dapat membuat ketahanan daya baterai meningkat sehingga jarak tempuh dari mobil listrik meningkat.

Kasus paling menonjol mengenai sistem pengereman pada mobil listrik terjadi pada mobil listrik Tucuxi yang dikendarai menteri BUMN Dahlan Iskan. Tucuxi mengalami kecelakaan pada tanggal 5 Januari 2013. Pasca kecelakaan, Dahlan Iskan menyebutkan, “mobil Tucuxi memberikan beban sepenuhnya kepada rem saat melakukan pengereman”. Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa sistem pengereman yang ada pada mobil listrik masih memerlukan sistem tambahan agar mobil bisa beroperasi dengan baik.

Sistem KERS adalah proses pemanfaatan energi kinetik pada kendaraan yang terjadi pada saat pengereman (deceleration) untuk digunakan atau disimpan untuk siap digunakan pada saat melakukan acceleration. Pada mobil listrik energi ini akan digunakan sebagai sistem pengisian pada baterai. Penelitian mengaplikasikan sistem pemulihan menggunakan energi kinetik/kinetic energy recovery system (KERS) pada mobil listrik Universitas Jember. Penelitian dilaksanakan dalam 2 tahun. Penelitian tahun pertama di tekankan pada aplikasi sistem pemulihan menggunakan energi kinetik pada mobil listrik sebagai penunjang sistem pengereman. Sedangkan penelitian tahun kedua ditujukan pada aplikasi sistem pemulihan menggunakan energi kinetik pada mobil listrik sebagai penunjang sistem pengisian baterai.

Perkembangan teknologi otomotif yang begitu pesat telah menuju ke arah terciptanya teknologi KERS (Kinetic Energy Recovery System). KERS adalah perangkat untuk menyimpan energi kinetik dan dimanfaatkan kembali untuk menambah akselerasi kendaraan. Penyimpanan energi kinetik dilakukan dengan cara mengkonversikan energi pengereman menjadi energi kinetik pada roda berputar atau saat terjadi pengereman. Energi ini kemudian disimpan dalam baterai, pegas atau *flywheel*. Pada prinsipnya teknologi KERS terbagi menjadi dua yaitu sistem elektro-mekanis dan full-mekanis. Sistem elektro-mekanis adalah sistem KERS yang menyimpan energi kinetik hasil pengereman dengan cara memutar poros generator yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik dan disimpan dibaterai/kapasitor. Sistem yang kedua adalah full-mekanis dengan menggunakan *flywheel* sebagai tempat penyimpanan energi.

Teknologi KERS sudah diaplikasikan pada sepeda oleh Chenghan Li (2008) dengan menggunakan prinsip putaran roda. Aplikasi KERS pada sepeda menggunakan sistem full-mekanis dengan penyimpanan energi berupa torsi pegas. Energi kinetik dari putaran roda akan diteruskan ke torsi pegas melalui sistem CVT. Energi pada torsi pegas bergerak dari diameter kecil ke diameter besar pegas, pada saat ini terjadi pembalikan energi sehingga membantu proses deceleration. Pada CVT kecepatan akan dikurangi dengan bantuan *reducer gear*, perubahan kecepatan akan terbaca oleh *accelerometer*. Kemudian *mikrocontroller* akan membandingkan kecepatan awal dan akhir sehingga pada akhirnya mengontrol proses *deceleration* menjadi lebih halus. Pada proses *acceleration*, energi yang disimpan pada pegas torsi akan dikembalikan ke sistem dengan cara yang sama tetapi dengan arah yang berlawanan. Sistem ini relatif sederhana dan kapasitas penyimpan energinya sangat kecil.

Teknologi KERS telah diaplikasikan pada bus oleh Brockbank C, Greenwood C (2009) Sistem KERS pada penelitian ini menggunakan

sistem elektro-mekanis dengan *flywheel* berfungsi untuk menangkap energi kemudian disimpan di baterai. Hal ini disebabkan karena kebutuhan energi yang cukup besar untuk perjalanan jarak jauh. Kelemahan pada sistem ini adalah kapasitas penyimpanan energinya dan *power transmission* kurang sesuai untuk diterapkan pada kendaraan pada umumnya

Teknologi KERS juga telah diaplikasikan pada mobil F1 untuk regulasi terbaru tahun 2009 (Mosley, 2009). Tujuannya adalah untuk meningkatkan akselerasi mobil F1 serta mengurangi tingkat emisi dengan pembangkitan kembali energi yang dibuang saat pengereman. Pada saat mobil melakukan pengereman maka *flywheel* akan menyimpan energi dalam bentuk kinetik, energi yang tersimpan dalam *flywheel* bias digunakan kembali untuk menambah kecepatan. KERS yang digunakan pada mobil F1 dibuat oleh perusahaan *Flybrid* dari Inggris. Energi yang mampu dihemat dari alat yang diciptakan perusahaan tersebut yaitu sekitar 400 kilojoule untuk setiap lap. Apabila dikonversikan sama dengan 80 HP atau 60 KW dalam waktu 6,67 detik. Selanjutnya akan dikembangkan lagi KERS F1 dengan spesifikasi yang lebih tinggi yaitu 200 KW serta mempunyai desain yang lebih kecil dan ringan.

Penerapan teknologi KERS untuk mobil listrik didasarkan karakteristik mobil listrik itu sendiri yaitu tidak adanya *engine brake* dan jarak tempuh yang terbatas akibat tidak dapat melakukan sistem pengisian pada saat digunakan (bergerak).

### Sistem Pemulihan Energi Kinetik

Sehubungan dengan beberapa kendala pemasangan alat dan bahan pada saat pembuatan rangka dan perakitan, pengambilan data awal baru bisa dilaksanakan pada tanggal 16 November 2013. KERS adalah perangkat untuk menyimpan energi kinetik dan dimanfaatkan kembali untuk menambah akselerasi kendaraan. Penyimpanan energi kinetik dilakukan dengan cara mengkonversikan energi pengereman menjadi energi kinetik pada roda berputar atau saat terjadi pengereman. Energi ini kemudian disimpan dalam baterai, pegas atau *flywheel*. Pada prinsipnya teknologi KERS terbagi menjadi dua yaitu sistem elektro-mekanis dan full-mekanis. Sistem elektro-mekanis adalah sistem KERS yang menyimpan energi kinetik hasil pengereman dengan cara memutar poros generator yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik dan disimpan dibaterai/kapasitor. Sistem yang kedua adalah full-mekanis dengan menggunakan *flywheel* sebagai tempat penyimpanan energi.

Dengan menggunakan hukum kekekalan energi maka diperoleh hubungan bahwa besarnya energi kinetik ( $E_k$ ) yang diperoleh pada saat pengereman adalah setara dengan energi pengereman ( $E_p$ ):

$$E_p = E_k = \frac{1}{2} m v^2.$$

$$P.t = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$$

dimana:

P = daya pengereman (Watt)

t = waktu pengereman (dt)

m = massa kendaraan (kg)

$v_2$  = kecepatan setelah pengereman (m/dt)

$v_1$  = kecepatan sebelum pengereman (m/dt)

Sehingga energi yang mampu diserap oleh *flywheel* (KERS) adalah:

$$I \times \alpha = P.t$$

dimana

$$I = \text{momen inersia flywheel} = m (r_2^2 - r_1^2) \text{ (kg.m}^2\text{)}$$

$\alpha$  = percepatan sudut pada *flywheel* (rad/dt<sup>2</sup>)

m = massa *flywheel* (kg)

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian pada tahap awal ini ditekankan pada rancang bangun sistem pengereman regeneratif braking. Pada tahap ini proses yang dilakukan adalah merancang sistem berikut instalasi sistem pengereman regeneratif pada mobil listrik Universitas Jember. Perancangan sistem pengereman regeneratif memperhitungkan posisi dan ruang yang tersedia pada mobil listrik agar sistem dapat diimplementasikan pada mobil tersebut.

Sistem pengereman regeneratif terdiri atas dua komponen utama yakni CVT (continuously variable transmission) dan *flywheel*. CVT akan di *couple* dengan poros roda belakang menggunakan kopling dan *flywheel* akan di *couple* dengan CVT. Proses desain sistem pengereman regeneratif dikerjakan dengan menggunakan simulasi CATIA pada beberapa variasi *flywheel* dan rasio reduksi transmisi (CVT). Dari kegiatan ini dihasilkan gambaran yang mendekati kenyataan yang dapat dijadikan acuan untuk tahap pembuatan. Kegiatan ini menghasilkan rancangan dan instalasi sistem pengereman regeneratif beserta tersedianya seluruh bahan dan alat yang dibutuhkan di dalam sistem tersebut.

### Pengujian sistem pengereman regeneratif.

Pada tahap ini akan dilaksanakan pengujian terhadap sistem pengereman regeneratif. Variabel yang akan diukur adalah laju perlambatan dari sistem pengereman regeneratif. Proses pengujian bertujuan mendapatkan kondisi yang akan menghasilkan efek pengereman yang optimum, dengan nilai momen inersia dari *flywheel* dan rasio reduksi pada CVT.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Percobaan Awal

Sehubungan dengan beberapa kendala pemasangan alat dan bahan pada saat pembuatan rangka dan perakitan/assembly, pengambilan data

awal baru bisa dilaksanakan pada tanggal 16 November 2013.

Prinsip kerja dari sistem yang dibuat adalah dengan memutar roda mobil dengan bantuan clutch 1 dan kopling sebagai simulasi dari mobil sebenarnya yang digerakkan oleh motor induksi 1 fasa dengan sumber dari avr (automatic voltage regulator) pada tegangan antara 100 V sampai dengan 140 Volt. Simulasi saat roda berputar dinyatakan dengan coil clutch 1 diberikan tegangan listrik 12 Volt dc dan coil clutch 2 dalam posisi off. Setelah roda berputar, clutch 2 diberikan tegangan listrik 12 Volt dc dan clutch 1 dalam posisi off, hal ini menunjukkan sistem dalam posisi pengereman sehingga terjadi transfer energi kinetik dari roda mobil kedalam *flywheel*. Saat *flywheel* dalam posisi berputar, maka energi kinetik ini dimanfaatkan untuk memutar generator.

Data yang diperoleh seperti pada Tabel 1 menunjukkan hubungan parameter-parameter yaitu kecepatan roda, kecepatan *flywheel*, dan durasi *flywheel* pada saat pengereman. Pada data dengan tegangan masuk motor induksi 120 volt terdapat kesalahan data dengan kecepatan roda sebesar 2200 rpm, hal ini disebabkan sensitivitas alat ukur yang tidak sesuai. Sedangkan data pada tegangan masuk 130 volt dan 125 volt terdapat penurunan kecepatan dan kemudian meningkat lagi, hal ini menunjukkan masih diperlukannya pembandingan dari alat ukur tachometer lain supaya dapat diperoleh hasil yang benar.

Tabel 1. Parameter Kecepatan dan Durasi

Tegangan (Volt)	Kec.Roda (RPM)	Kec.Flywheel (RPM)	Kec. Flywheel (RPS)	Inersia Flywheel ( $I = 0.5 \delta_{out} \pi L (R_{out}^4 - R_{in}^4)$ ) (kg.m <sup>2</sup> )
140	771	483	50.554	1.142
135	697	273	28.574	1.142
130	680	128	13.39733	1.142
125	657	301	31.50467	1.142
120	550	282	29.516	1.142

Tabel 2. Parameter Kecepatan dan Durasi

Tegangan (Volt)	$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 / 1000$ (kJ)	Durasi Flywheel (second)	battery capacity = $h \cdot I$ charging (A.h)
140	266.5939	29.47	0.04
135	85.16894	25.92	0.036
130	18.72302	21.42	0.029
125	103.5354	20.25	0.028
120	90.87704	18.67	0.025

v2 : kecepatan setelah pengereman (m/dt)  
 $R_{in}$  : jari2 dalam  
v1 : kecepatan sebelum pengereman (m/dt)

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahn J., Jung, K., Kim, D., Jin, H., Kim, H. and Hwang, S., (2009). Analysis of a regenerative braking system for Hybrid System for Hybrid Electric Vehicles using an Electro-Mechanical Brake, Int. J. of Automotive Techonlogy, Vol. 10 (No. 2) : 229-234
- [2] Larminie James, Lowry John, 2003. Electric Vehicles Technology Explained, John Wiley & Sons, England.
- [3] Nakamuri, E Soga. M., Sakaki, A., Otomo, A., Otomo, A. and Kobayashi, T., (2000). Development of Electronically controlled brake System for Hybrid Vehicle. SAE Paper No 2002-01-0900.
- [4] Peng D., Zhang, Y., Yin, C.L., and Zhang, J.W., (2008). Combined Control of a Regenerative braking and Antilock Braking System for Hybrid Electric Vehicles Int. J. of Automotive Techonology Vol. 9 (No. 6): 749-757
- [5] Yeo H., Song, C., Kim, C., and Kim, H. (2004). Hardware in the Loop Simulation of Hybrid Electric Vehicle for Optimal Engine Operation by CVT ratio control Int. J. of Automotive Technology Vol 5 )No. 3): 2010-208.



Gambar 2. Alat KERS Yang Dibuat

#### IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan akhir diambil setelah memperoleh keseluruhan data dari percobaan yang telah dilakukan. Kesimpulan tahap awal dari data pada Tabel I diperoleh bahwa terdapat hubungan antara kecepatan rodadan flywheel yaitu semakin tinggi kecepatan rodadan mobil maka kecepatan dan energy kinetik yang dihasilkan oleh flywheel juga meningkat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, DIKTI yang telah memberikan dana penelitian melalui program BOPTN tahun 2013.

P : daya pengereman (Watt)  
 $\delta_w$  : Massa jenis bahan = baja  
t : waktu pengereman (detik)  
L : lebar flywheel (0.15m)  
m : massa kendaraan (kg)  
 $R_{out}$  : jari-jari luar (0.3m)