



SIMULASI RANCANGAN SISTEM MEKANIK PEMANFAATAN BOBOT KENDARAAN SEBAGAI SUMBER ENERGI PEMBUKA PALANG PINTU (PORTAL)

Joni Dewanto

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra, Surabaya
Jalan Siwalankerto 131, Surabaya 60236, Indonesia
Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658
Email: jdewanto@peter.petra.ac.id

ABSTRAK

Jalan masuk ke atau keluar dari daerah pemukiman atau area parkir kendaraan, sering dilengkapi portal yaitu sebuah palang sederhana sebagai penutup jalan. Setiap kali ada kendaraan yang akan melewati jalan tersebut, portal dibuka dan ditutup dengan cara memutar palang pintu pada salah satu ujungnya. Portal di daerah elit atau di kawasan yang ramai seperti mal atau pusat bisnis, biasanya tidak dibuka-tutup secara manual oleh petugas, tetapi memakai motor listrik dan sekaligus menjadi satu unit dengan pencetak kartu parkir elektrik. Dalam satu siklus operasinya unit ini sebenarnya tidak membutuhkan tenaga listrik yang besar. Tetapi, jika hal tersebut terjadi berulang dalam jumlah yang besar, maka akumulasi tenaga yang diperlukan juga menjadi besar. Penelitian ini mensimulasikan rancangan sebuah sistem mekanik yang memanfaatkan bobot dari setiap kendaraan yang lewat sebagai sumber energi untuk menggerakkan portal dan mencetak kartu parkir elektrik secara mandiri. Dengan sistem mekanik ini, gaya impulsif dari bobot kendaraan diubah menjadi tenaga kinetik flywheel yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Tenaga listrik yang dihasilkan akan disimpan di dalam baterai sebagai cadangan energi listrik untuk motor penggerak portal.

Hasil simulasi rancangan sistem mekanik ini menunjukkan bahwa setiap kendaraan yang lewat dapat menghasilkan energi listrik yang lebih besar dari yang dibutuhkan untuk membuka dan menutup portal. Dengan demikian, maka untuk mengoperasikan unit pintu portal dan pencetak kartu parkir elektrik tidak lagi membutuhkan tenaga listrik dari luar. Kelebihan energy yang dihasilkan dapat disimpan di dalam baterai dan digunakan untuk kebutuhan lain.

Kata kunci: Sistem mekanik, penggerak portal, pemanfaatan flywheel, bobot kendaraan.

1. Pendahuluan (11 pt)

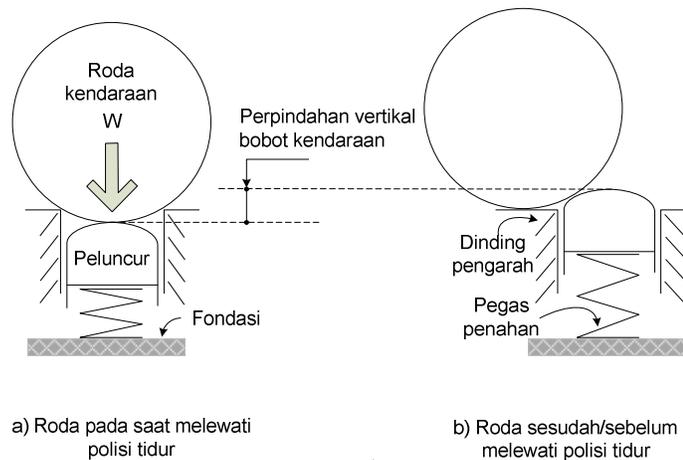
Di jalan masuk ke atau keluar dari daerah pemukiman atau area parkir kendaraan, sering dilengkapi dengan palang pintu (portal). Keberadaan portal tidak dimaksudkan sebagai pintu pengaman, tetapi lebih difungsikan sebagai tempat pengontrolan keluar dan masuknya kendaraan pada suatu area tertentu. Oleh karena itu pintu portal pada umumnya dibuat dari kerangka atau batang sederhana yang ringan dan mudah dioperasikan. Setiap kali ketika akan ada kendaraan yang masuk ke atau keluar dari kawasan tersebut, portal dibuka dan ditutup dengan cara memutar portal pada sumbu yang diletakkan di salah satu sisi jalan. Di kawasan yang tidak padat penduduk, portal dapat dibuka dan ditutup secara manual oleh petugas. Namun, portal untuk daerah elit atau di kawasan yang ramai seperti mal atau tempat bisnis, biasanya digerakkan dengan motor listrik dan sekaligus menjadi satu unit dengan alat pencetak kartu parkir elektrik [1,2,3].

Dalam satu siklus operasinya sebuah portal sebenarnya tidak membutuhkan tenaga yang besar, namun demikian kebutuhan energi listrik yang terakumulasi dalam setiap hari dapat mencapai jumlah yang besar, tergantung seberapa sering portal tersebut dibuka dan ditutup. Untuk daerah-daerah yang

masih sering terjadi gangguan listrik, maka pengoperasian portal yang mengandalkan pasokan listrik dari jaringan luar seperti ini juga rentan terhadap gangguan tersebut. Pada saat aliran listrik padam, sistem pengendalian keluar masuk kendaraan dan keamanan suatu area atau kawasan, pada umumnya dapat terganggu karena portal tidak berfungsi. Selain itu dan sejalan dengan era harga bahan bakar tak terbarukan yang semakin mahal dan isu pemanasan global akibat pembakaran bahan bakar, maka penelitian penelitian untuk memanfaatkan energi yang terbarukan menjadi sangat penting. Penelitian ini mensimulasikan rancangan sebuah sistem mekanik yang memanfaatkan bobot dari setiap kendaraan yang keluar masuk dari dank ke suatu kawasan, sebagai sumber energi untuk menggerakkan portal dan mencetak kartu parkir elektrik secara mandiri. Dengan sistem ini diharapkan, pengoperasian portal tidak lagi terpengaruh oleh masalah gangguan pasokan listrik dari luar (PLN), hemat biaya operasional dan turut menciptakan program *green environment*.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara merancang sistem mekanik yang dapat mengubah gaya impulsif dari bobot (gaya berat) setiap kendaraan yang melewati portal menjadi energi kinetik pada *fly wheel*. Selanjutnya energi tersebut digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Listrik yang dihasilkan disimpan di dalam baterai dan digunakan untuk menggerakkan motor listrik penggerak portal. Pengubahan bobot kendaraan menjadi energi kinetik *fly wheel* difasilitasi dengan memasang “polisi tidur bergerak” yang diletakkan di depan (sebelum/sesudah) portal. Setiap melewati portal, kendaraan akan menekan polisi tidur tersebut ke bawah dan melakukan usaha dengan bobot (gaya berat) nya. Mekanisme untuk melakukan usaha dari gaya berat kendaraan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Usaha Gaya Berat

Besarnya usaha (U_k) yang diperoleh dari bobot kendaraan, ditulis dengan Persamaan 1, sebagai berikut:

$$U_k = m_k \times g \times s_k \dots\dots\dots (1)$$

- Dimana, m_k : Massa kendaraan yang ditumpu roda ketika melewati polisi tidur
- g : Percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/det}^2$)
- s_k : Perpindahan vertikal bobot kendaraan pada saat melewati polisi tidur

Agar usaha tersebut dapat digunakan untuk memutar *fly wheel*, maka pada peluncur dilengkapi dengan

pasangan roda gigi *rack* dan pinion. Poros roda gigi pinion dikopel (menjadi satu) dengan poros *fly wheel*, sedang roda gigi *rack* dihubungkan dengan peluncur. Ketika peluncur terdorong oleh gaya dari bobot kendaraan ke bawah, maka roda gigi *rack* juga akan bergerak ke bawah dan akan memutar *fly wheel* melalui roda gigi pinion. Besarnya energi kinetik *fly wheel* (E_f) dinyatakan dengan Persamaan 2, sebagai berikut:

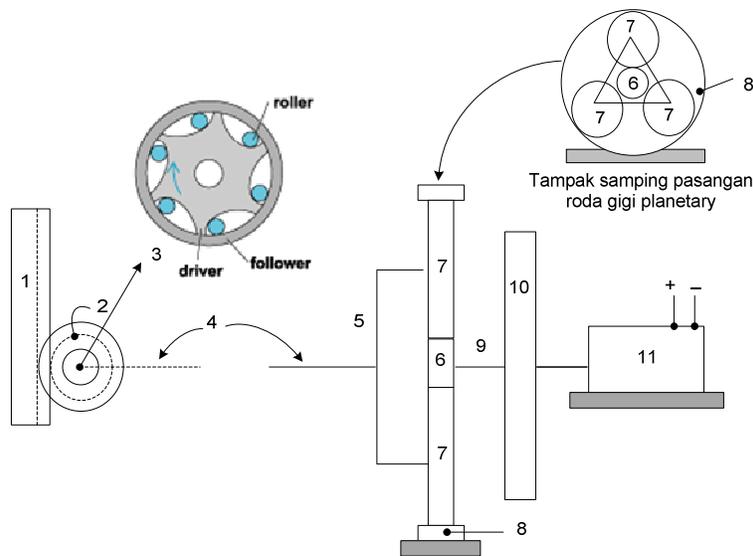
$$E_f = \frac{1}{2} I \omega_f^2 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana, I : Momen inersia masa *fly wheel*
 ω_f : Kecepatan angular *fly wheel*

3. Hasil dan Pembahasan

Rancangan Sistem Mekanik

Agar dapat mengubah usaha gaya dari bobot kendaraan menjadi energi kinetik pada *fly wheel* secara efektif, sistem mekanik ini dirancang dengan komponen yang tersusunan seperti pada Gambar 2.



- | | | | |
|------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1. rack | 4. poros pinion | 7. roda gigi planetary | 10. fly wheel |
| 2. pinion | 5. lengan roda gigi planetary | 8. roda gigi teta | 11. generator listrik |
| 3. ratchet wheel | 6. roda gigi matahari | 9. poros roda gigi tetap | |

Gambar 2. Komponen dan Susunan Sistem Mekanik

Dalam mekanisme ini, *rack* (1) dipasang pada peluncur dan pada poros pinion dilengkapi dengan *ratchet wheel* (3). Ketika peluncur bergerak ke bawah, maka *rack* akan memutar pinion (2) dan poros pinion (4) ke suatu arah. Sebaliknya ketika *rack* bergerak kembali ke atas, pinion akan berputar pada arah sebaliknya, tetapi poros pinion tidak mengikuti gerakan pinion tersebut. Hubungan kinematik antara panjang gerakan *rack* (s) dengan sudut putar pinion (θ) dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.

$$s = r \times \theta \dots\dots\dots (3)$$

Dimana r : radius pinion
 1 radian = 57,3°

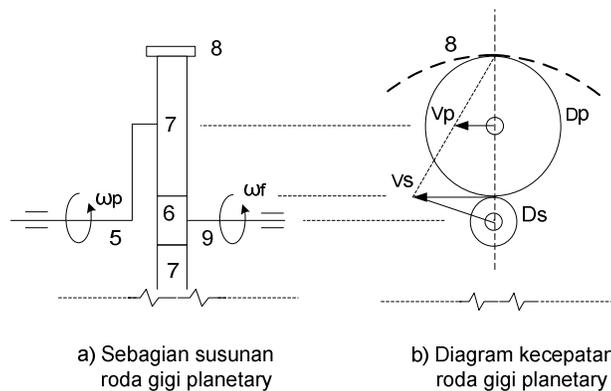
Dalam rancangan ini diupayakan agar setiap langkah gerakan *rack* dapat memutar pinion hingga mendekati frekuensi pembangkitan listrik (50 Hz). Sesuai dengan Persamaan 3, untuk panjang gerakan *rack* tertentu, maka putaran pinion akan semakin tinggi bila diameter pinion makin kecil. Namun hal ini berarti bahwa diameter poros pinion yang dapat digunakan juga semakin kecil. Jika ketinggian polisi tidur atau panjang gerakan peluncur (s) yang cukup lazim digunakan adalah 12 cm, maka pinion dapat direncanakan dengan diameter sebesar 6 cm (atau r = 3 cm). Dari Persamaan 3, putaran pinion untuk 1 gerakan *rack* ke bawah dapat dihitung sebagai berikut:

$$\theta = \frac{12}{3} \times 57,3^{\circ} = 229,2^{\circ} \dots\dots\dots (4)$$

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2, sistem mekanik ini dirancang menggunakan roda gigi *planetary* agar semua poros yang ada dapat tersusun koaksial dan kompak. Poros pinion dikopel dengan poros lengan roda gigi *planetary* dan poros roda gigi mata hari dikopel ke poros *fly wheel* yang menjadi satu dengan poros generator listrik. Jika gerak turun *rack* sepanjang 12 cm direncanakan dalam waktu 0,2 det, maka kecepatan sudut (angular) atau frekuensi putaran pinion setiap detik (ω_p) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5.

$$\omega_p = \frac{229,2^{\circ}}{0,2 \text{ detik}} = \frac{1146^{\circ}}{\text{detik}} = 3,18 \text{ putaran/detik} \dots\dots\dots (5)$$

Melihat hasil perhitungan pada Persamaan 5, maka pasangan roda gigi *planetary* yang digunakan harus dapat berfungsi untuk meningkatkan putaran poros *fly wheel* agar sesuai dengan kecepatan putar yang diperlukan oleh poros generator listrik. Kinematika kecepatan pada pasangan roda gigi *planetary* dapat ditunjukkan melalui Gambar 3.



Gambar 3. Kinematika Kecepatan Roda Gigi Planetary

Jika diameter roda gigi *planetary* dan roda gigi matahari masing-masing adalah D_p dan D_s , maka panjang lengan roda gigi *planetary* (R), adalah sebesar $(D_p + D_s)/2$. Sehingga kecepatan tangensial poros

roda gigi planetary (V_p), dapat dihitung dengan Persamaan 6.

$$V_p = \omega_p x (D_p + D_s)/2 \dots\dots\dots (6)$$

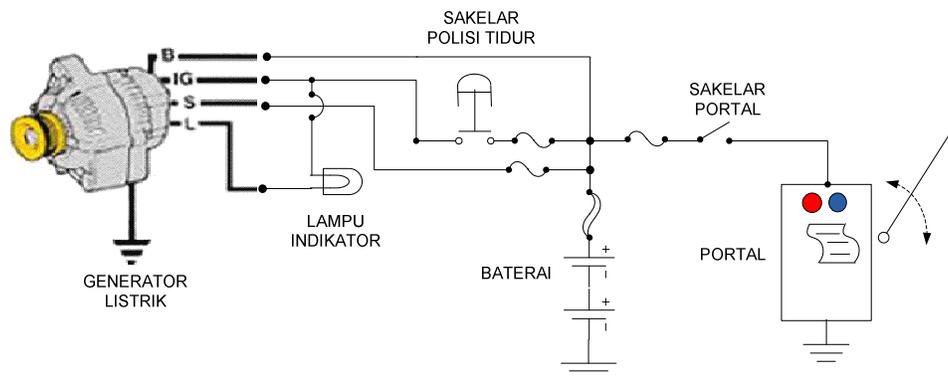
Dari Gambar 3b, dapat ditentukan bahwa kecepatan tangensial poros roda gigi matahari adalah 2 kali kecepatan tangensial poros roda gigi planetary. Sehingga kecepatan putar poros roda gigi matahari yang sama dengan kecepatan putar fly wheel (Gambar 6) dapat dihitung dengan Persamaan 7.

$$\omega_f = \frac{2\omega_p x (D_p + D_s)}{D_s} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan merencanakan D_p sebesar $1,4 D_s$, maka dari Persamaan 7 dan Persamaan 5 akan diperoleh bahwa $\omega_f = 4,8 \omega_p = 4,8 x 3,18$ putaran/detik = 15,26 putaran/detik. Sehingga untuk dapat mencapai putaran poros fly wheel yang lebih besar dari 50 Hz, maka dalam perencanaan ini digunakan 2 susunan pasangan roda gigi planetary dengan geometri yang sama dengan roda gigi planetary pertama

Rancangan Sistem Kelistrikan

Pada saat kendaraan melalui polisi tidur, poros generator akan bergerak dengan suatu percepatan hingga sampai pada kecepatan tertentu, tergantung dari kecepatan dan bobot kendaraan yang melewatinya. Kecepatan poros generator akan turun secara gradual, ketika sudah tidak ada kendaraan yang melewatinya. Oleh karena itu diperlukan sistem pengatur agar baik arus ataupun tegangan listrik yang dihasilkan generator dapat terkendali (teratur). Dalam rancangan ini digunakan generator listrik yang biasa dipakai untuk mobil atau yang biasa disebut dengan dinamo amper atau alternator. Alternator ini sudah dilengkapi dengan diode rectifier untuk menghasilkan luaran tegangan DC dan IC regulator untuk mengatur besarnya arus dan tegangan yang dihasilkan [4]. Rangkaian listrik dari sistem pembangkitan dan penyimpanan serta penggunaan energi listrik yang dirancang, ditunjukkan pada Gambar 4.



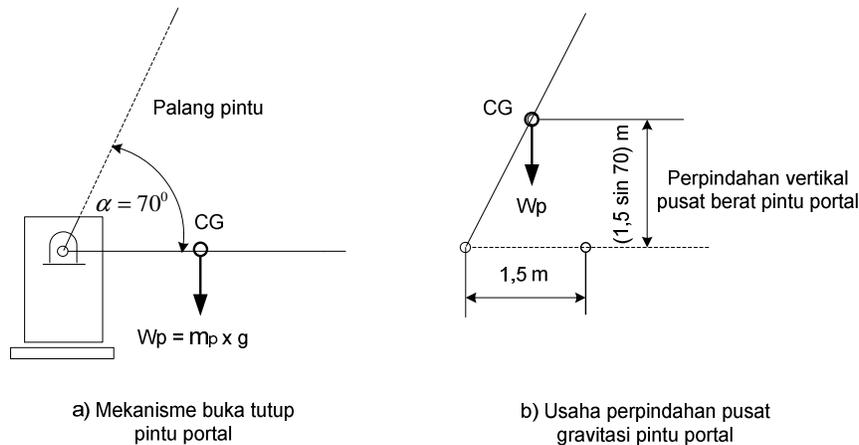
Gambar 4. Diagram Kelistrikan

Alternator ini memiliki 4 terminal. Terminal B merupakan terminal untuk pasokan energi listrik yang dihasilkan alternator ke baterai. Pasokan energi listrik dari baterai ke alternator untuk membangkitkan sistem kemagnetan di dalam alternator dilewatkan melalui terminal IG. Saluran kelistrikan ini dilewatkan melalui sebuah sakelar yang dipasang di polisi tidur. Ketika kendaraan melewati polisi tidur, sakelar akan ON sehingga terjadi kemagnetan di dalam alternator. Sakelar ini dilengkapi dengan pewaktu agar dapat tetap pada posisi ON dalam kurun waktu tertentu untuk memberi kesempatan alternator mengisi baterai hingga beberapa saat sesudah kendaraan melewati polisi tidur. Terminal S

terhubung ke baterai untuk memonitor tegangan baterai dan digunakan untuk mengontrol sistem pembangkitan listrik oleh alternator. Sedang terminal S dapat digunakan untuk lampu indikator. Beban dari sistem kelistrikan ini terdiri dari peralatan untuk mencetak kartu parkir dan pembuka serta penutup portal. Proses mencetak dan membuka portal diaktifkan dengan sakelar secara manual oleh pengemudi. Sedang proses menutup portal dilakukan secara otomatis dengan signal masukan dari sensor, pada saat kendaraan melewati portal.

Energi Untuk Membuka-tutup Portal

Sistem mekanik pintu portal terdiri dari palang pintu, motor penggerak pintu dan sistem pemindah daya. Pintu portal dibuka dan ditutup dengan cara menggerakkan palang pintu berputar vertikal di salah satu ujungnya. Palang pintu dibuat dengan bentuk yang sederhana dan dari bahan yang ringan seperti aluminium profil, agar daya yang diperlukan untuk membuka dan menutup pintu tersebut tidak besar. Dengan panjang bentang 3m [3] maka masa palang pintu dan kelengkapannya, diperkirakan tidak lebih dari 8 Kg. Untuk beban yang ringan seperti ini dan kemudahan dalam mengontrol gerakannya, maka dipilih motor DC sebagai penggerak. Sistem pemindah daya dalam rancangan ini digunakan untuk mengatur kecepatan dan torsi luaran, yaitu tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan palang pintu. Dengan daya yang sama, torsi luarannya dapat ditingkatkan sebanding dengan penurunan kecepatan luarannya. Peralatan pemindah daya dalam sistem mekanik ini akan ditentukan kemudian. Kebutuhan energi pada sistem mekanik ini, dapat dianalisis dari sistem dinamik pembukaan dan penutupan pintu yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Sistem Dinamik Pintu Portal

Pintu portal dirancang dengan sudut buka hingga 70°. Sesuai dengan Gambar 5, maka net energi yang diperlukan untuk membuka pintu portal (U_p) dapat dihitung dengan Persamaan 8.

$$U_p = m_p \times g \times s_p \dots\dots\dots (8)$$

- Dimana
- m : Massa portal (8Kg)
 - g : Percepatan gravitasi (9,8 m/det²)
 - s_p : Perpindahan vertikal pusat gravitasi portal

Sehingga dengan masa dan pembukaan portal yang direncanakan, dan dengan asumsi bahwa energi untuk membuka dan menutup portal sama, maka besarnya total usaha yang diperlukan untuk membuka

dan menutup portal dapat dihitung sebagai berikut.

$$U_p \text{ tot} = 2 \times 6 \text{ Kg} \times 9,8 \frac{m}{det^2} \times 1,5m \sin 70$$

$$U_p \text{ tot} = 221 \text{ Nm}$$

Usaha dari Bobot Kendaraan

Setiap melewati portal, kendaraan akan mendorong polisi tidur 2 kali, yaitu oleh roda depan dan roda belakang. Masing-masing roda akan memberi usaha yang sebanding dengan beban yang dipikulnya. Oleh karena itu, usaha total dari kedua roda dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 dengan memasukkan harga W_k , sama dengan bobot total kendaraan. Acuan dalam menentukan usaha minimum dalam rancangan ini ditetapkan menurut data spesifikasi mobil kecil (city car) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Bobot Kendaraan Kecil *

No	Jenis Kendaraan	Kapasitas Mesin (cc)	Tahun Pembuatan	Bobot kosong Kendaraan (Kg)
1	Toyota Yaris 1.5 S M/T	1500	2013	1075
2	Suzuki Swift 1.5 GT 3	1490	2013	1080
3	Honda Jazz 1.5 RS	1497	2012	1090
4	Ford Fiesta Hatchback 1.4	1388	2012	1106
5	Nissan March 1.2	1198	2012	945
6	Suzuki Karimun Estilo 1.0	996	2012	850

* Dari leflet berbagai kendaraan terkait

Jika menggunakan data dari kendaraan yang paling ringan (Suzuki Karimun), dan dengan asumsi bobot pengemudi sebesar 50 Kg, maka usaha yang dihasilkan dari bobot kendaraan total (900 Kg) yang melewati portal dapat dihitung dengan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$U_k = 900 \text{ Kg} \times 9,8 \frac{m}{m^2} \times 0,12 \text{ m}$$

$$U_k = 1058 \text{ Nm}$$

Kesimpulan

Dengan mengambil harga efisiensi mekanik dan efisiensi listrik dari seluruh sistem ini, masing-masing sebesar 0,7 dan 0,8, maka net usaha yang didapat adalah $0,7 \times 0,8 \times 1058 \text{ Nm} = 592 \text{ Nm}$. Nilai ini lebih dari dua kali lebih besar dari net usaha yang diperlukan untuk membuka dan menutup pintu portal, yaitu sebesar 221 Nm. Untuk itu dapat disimpulkan bahwa rancangan sistem mekanik ini dapat menghasilkan tenaga yang diperlukan untuk membuka dan menutup pintu portal secara mandiri, dan kelebihan energi yang dihasilkan dapat disimpan di dalam baterai dan digunakan untuk kebutuhan lain.

Daftar Pustaka

1. Imam Muslih, *Perancangan Palang Pintu (Portal) Mekanik Elektrik*, Undergraduate Thesis, University of Muhammadiyah Malang, 2006
2. Palang Parkir Barrier Gate, rudysolusitronik@yahoo.co.id, Mei 2013

3. CAME Access Automation, www.came-americas.com, Mei 2013
4. Galeri Motor, *Rangkaian Sistem Pengisian*, <http://www.galerimotor.com/alternator1.htm>, Mei 2013