



RANCANGAN SISTEM KELISTRIKAN PADA MESIN LISTRIK BERBASIS SOLENOIDA SEBAGAI SUMBER PENGGERAK KENDARAAN BERMOTOR

Muhammad Alwi Zahidan¹, Abiyansyah Putra Pratama², Zakiudin Fahril Asyhar³,
Artono Dwijo Sutomo⁴

^{1,2,3,4}Program Studi S1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret

*Alamat email korespondensi: artono@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Selama ini kendaraan bermotor menggunakan bahan bakar fosil untuk memperoleh energi. Mulai dari bahan bakar solar, bensin, maupun batu bara sudah banyak digunakan untuk transportasi maupun industri. Dari penggunaan bakar fosil tersebut menimbulkan beberapa masalah seperti polusi udara, tercemarnya lingkungan hingga pemanasan global. Ketersediaan bahan bakar yang semakin habis juga mengakibatkan terhambatnya produksi energi. Guna mengatasi masalah-masalah tersebut, maka dilakukan penggunaan kendaraan bermotor dengan energi listrik sebagai energi penggerak utama. Dikembangkan sebuah mesin listrik solenoida dimana merupakan kombinasi antara mesin konvensional dengan motor listrik. Mesin listrik ini memanfaatkan aktuator elektrik solenoida sebagai pengganti sistem pembakaran pada mesin bahan bakar minyak. Dengan penggunaan energi listrik sebagai energi utama pada mesin listrik ini, perlu adanya rancangan perangkat elektrik untuk menunjang kinerja mesin agar lebih optimal. Perangkat elektrik ini dirancang untuk mampu mengendalikan, mengatur serta menyalurkan listrik pada perangkat-perangkat mesin listrik solenoida. Beberapa perangkat utama seperti baterai, distributor, solenoida, generator dan regulator dirancang untuk mesin listrik yang efisien serta mampu memaksimalkan kemampuan penyimpanan listrik pada baterai. Dengan penggunaan mesin listrik solenoida ini diharapkan dapat membantu sebagai solusi dari dampak penggunaan bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor.

© 2021 Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI

Kata kunci: solenoida, mesin listrik, kelistrikan

PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor atau *motor vehicle* merupakan alat transportasi mayoritas atau yang lazim digunakan oleh manusia untuk membantu melakukan berbagai aktifitas dalam kehidupannya. Akan tetapi, ternyata penggunaan kendaraan bermotor tersebut menimbulkan dampak yang cenderung buruk terhadap lingkungan berupa kenaikan temperatur suhu pada permukaan bumi (*global warming*) serta pada meningkatnya polusi udara (Ismiyati *et al.*, 2014). Pemanasan global ini dapat terjadi karena akibat dari peningkatan efek emisi gas rumah kaca seperti *chlorofluorocarbon* (CFC), karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), metana (CH₄) dan gas lainnya secara berlebih di atmosfer (Latuconsina, 2010).

Selain itu polusi udara atau tercemarnya lingkungan udara bersih oleh zat-zat dari

hasil kendaraan bermotor sangatlah berbahaya bagi kelangsungan lingkungan hidup. Zat atau senyawa yang bersifat bahaya bagi lingkungan hidup adalah senyawa dari jenis oksida sulfur (SO_x), oksida nitrogen (NO_x), oksida karbon (CO_x), hidrokarbon (CH_x), logam berat tertentu dan partikulat (Muziansyah *et al.*, 2015). Penggunaan kendaraan listrik merupakan pilihan yang baik untuk mengurangi emisi gas rumah kaca serta untuk mengurangi dampak terhadap kesehatan lingkungan hidup terutama manusia. Kendaraan listrik tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil tetapi juga mengurangi dampak bahan perusak ozon (Goel *et al.*, 2021). Pada penelitian ini, asumsi dari kendaraan listrik dengan biaya produksi yang rendah atau murah secara ekonomi serta pengurangan dampak dari isu lingkungan yaitu menggunakan teknologi dari solenoida untuk mengganti mesin dari kendaraan bermotor tersebut dengan

menggunakan teknologi dari prinsip solenoida. Solenoida merupakan seuntai kawat yang berbentuk spiral lilitan yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet di lingkup panjang lilitannya (Serway & Jewett, 2010). Bagian mesin yang dimaksud adalah silinder pada mesin diganti dengan kumparan kawat tembaga dan piston diganti dengan material yang memiliki sifat magnetik permanen. Sehingga dengan demikian mesin dari kendaraan bermotor yang sebelumnya menggunakan prinsip termodinamika berubah menjadi mesin listrik yang menggunakan prinsip solenoida sebagai penggerak (mesin listrik solenoida). Penelitian ini berfokus pada sistem kelistrikan daripada mesin listrik solenoida sehingga pembahasannya akan bertujuan pada bagaimana sistem kelistrikan dari mesin listrik solenoida. Perancangan sistem kelistrikan dilakukan untuk menunjang kinerja pada mesin listrik solenoida.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan prototipe mesin listrik solenoida sebagai pengganti mesin bahan bakar minyak konvensional. Penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam mengurangi dampak dari isu lingkungan (*global warming* dan polusi udara) akibat kendaraan bermotor konvensional (bahan bakar fosil) serta dapat menjadi titik acuan bagi para peneliti selanjutnya untuk dapat mengembangkan penelitian ini agar lebih baik pada masa yang akan datang.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode simulasi. Perangkat simulasi yang digunakan adalah perangkat lunak *Solidworks 2019* untuk gerak mekanis dan untuk simulasi rangkaian kelistrikan. Persiapan dilakukan dengan mencari referensi yang terkait mesin listrik dan sistem kelistrikan kendaraan untuk menentukan komponen yang akan digunakan dalam sistem kelistrikan mesin listrik solenoida. Pembuatan prototipe meliputi pembuatan desain 3D dan pembuatan rangkaian kelistrikan. Pembuatan tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks 2019*. Jika hasil tidak sesuai kualitas yang diharapkan, maka dilakukan evaluasi pada

tahap pembuatan model prototipe.

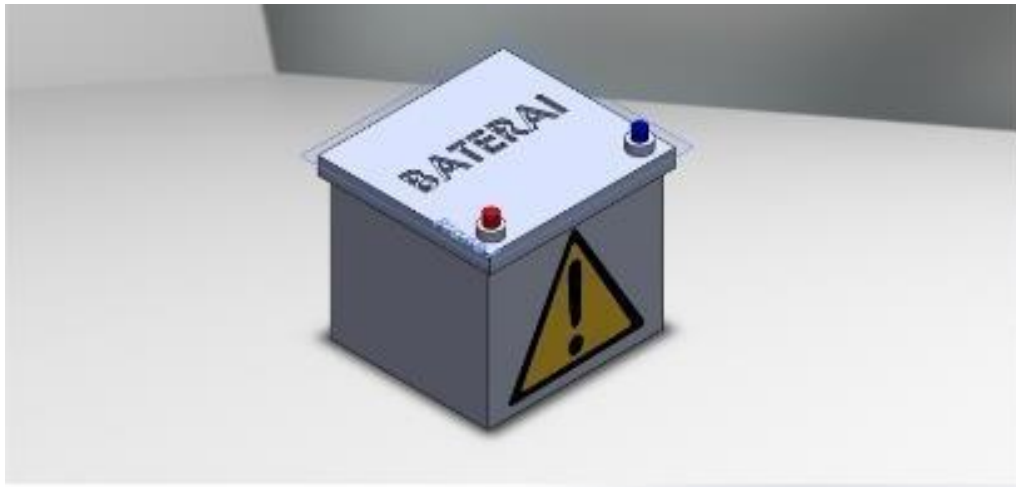
Teknik pembuatan model 3D terdiri dari pembuatan desain 2D dan 3D. Kemudian ukuran yang telah dipelajari pada referensi ditentukan dan disesuaikan dengan model desain 2D menggunakan perangkat lunak *CorelDraw 2018*. Desain 2D kemudian diaplikasikan ke dalam desain 3D menggunakan perangkat lunak *Solidworks 2019*. Dimensi atau ukuran desain 2D diperlukan untuk menentukan dimensi dari desain 3D. Tahap perakitan dilakukan dengan melakukan penyusunan/*assembly* model-model desain 3D yang telah dibuat menjadi desain model prototipe. Pengujian dilakukan dengan cara menyimulasikan mekanisme gerak dan rangkaian kelistrikan dari desain prototipe. Mekanisme gerak disimulasikan dengan perangkat lunak *Solidworks 2019*. Pengujian pada simulasi gerak dilakukan untuk mengetahui gerak pada desain prototipe sudah sesuai yang diharapkan atau belum.

Tahap evaluasi dilakukan untuk menganalisis kesalahan atau kekurangan pada akhir setiap tahap. Tahap ini meliputi tahap pembuatan, perakitan, dan pengujian. Tahap evaluasi dimaksudkan untuk memperbaiki kualitas hasil dari setiap tahap tersebut. Analisis data dilakukan dengan pengamatan pada simulasi model 3D alat dan sistem rangkaian kelistrikan prototipe. Pengamatan dilakukan untuk melihat dan memahami bagaimana sistem gerak dari simulasi 3D bekerja. Sementara untuk pengamatan rangkaian kelistrikan dilakukan untuk menganalisa prinsip kerja dari sistem kelistrikan mesin listrik solenoida. Hasil analisis dari simulasi gerak dan sistem kelistrikan mesin listrik solenoida serta masing-masing bagian mesin listrik solenoida dapat digunakan sebagai acuan dalam pengembangan penerapan mesin listrik solenoida pada kendaraan bermotor konvensional.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain rancangan prototipe mesin listrik solenoida dibuat dengan perangkat lunak *Solidworks 2019*. Dimensi untuk komponen disesuaikan dengan komponen

utama pada prototipe mesin listrik yang dibuat yaitu baterai, distributor, lilitan solenoida. Untuk komponen kelistrikan kawat tembaga, generator, dan regulator.

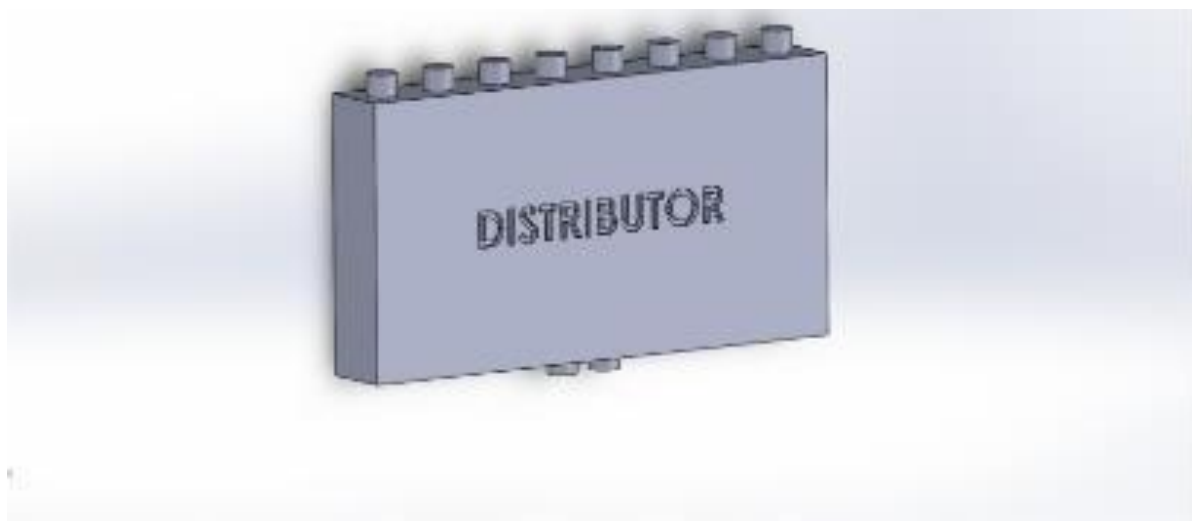


Gambar 1. Desain 3D baterai

Secara luas, listrik dari baterai ini dapat digunakan untuk sumber listrik pada seluruh perangkat kendaraan dan yang paling utama nantinya akan digunakan untuk menyuplai listrik pada solenoida sehingga mesin dapat bekerja. Berdasarkan karakteristik baterai, kemampuan penyimpanan muatan listrik ditunjukkan dengan satuan Ah atau *Ampere Hour*. Semakin besar nilai Ah dari suatu baterai, menunjukkan semakin besar muatan listrik yang mampu ditampung oleh baterai tersebut. Listrik yang tersimpan pada baterai akan berkurang seiring dengan penggunaan. Semakin besar arus dari

baterai yang digunakan untuk mengaliri suatu perangkat, maka semakin cepat pula listrik pada baterai untuk habis dipakai.

Mesin listrik solenoida ini dimisalkan dengan menggunakan baterai 12V 500Ah. Baterai ini terdiri dari 5 buah baterai 12V 100Ah yang dirangkai secara paralel sehingga diperoleh 12V 500Ah. Jika baterai tersebut dirangkai secara seri, maka yang didapatkan adalah baterai 60V 100Ah. Pada mesin listrik solenoida ini, sebelum listrik dialirkan ke perangkat solenoida, tegangan dan arus listrik dari baterai terlebih dahulu dikondisikan pada perangkat yang disebut distributor.

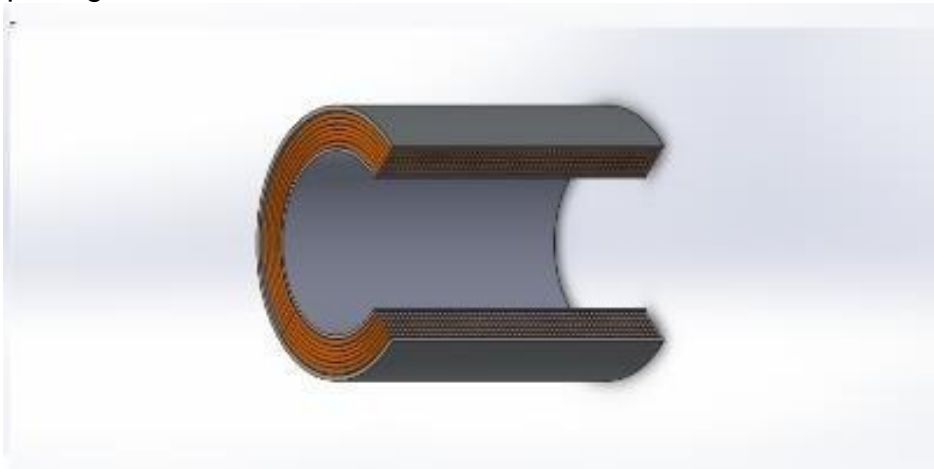


Gambar 2. Desain 3D distributor

Perangkat distributor difungsikan untuk menerima tegangan dan arus dari baterai

dan sebagai kontroler yang kemudian menyalurkan tegangan dan arus listrik tersebut ke perangkat solenoida. Pada perangkat distributor ini, tegangan dan arus akan dilakukan penyesuaian dengan kebutuhan dari pengguna. Ketika memerlukan daya dari mesin maka diperlukan gaya yang lebih besar pada solenoida, sebaliknya jika daya yang dibutuhkan tidak terlalu besar maka gaya yang dihasilkan pada solenoida tidak terlalu besar pula. Pengondisian variasi arus yang dilakukan oleh perangkat distributor ini sejalan dengan konsep mengenai medan magnet pada solenoida. Medan magnet yang dihasilkan oleh solenoida akan berbanding lurus dengan perubahan arus yang melewati solenoida. Pada distributor ini juga arus hasil 'olahan' akan diteruskan pada setiap perangkat solenoida.

Distributor kemudian akan melakukan pengontrolan penyaluran arus pada tiap solenoida yang dilakukan berdasarkan algoritma yang telah ditentukan sehingga tiap-tiap solenoida akan menerima arus sama secara bergantian. Algoritma yang diaplikasikan pada distributor akan mengatur pembagian solenoida mana yang akan menerima arus dan mana yang akan pada kondisi 'istirahat'. Dari algoritma tersebut kemudian dibuat sistem pemrograman yang berisikan gerbang-gerbang logika perintah pada mesin. Perangkat distributor sudah banyak dijumpai pada kendaraan-kendaraan BBM dengan istilah *Engine Control Unit (ECU)* atau *Engine Control Module (ECM)* dimana juga sebagai kontroler pada kebanyakan kendaraan.



Gambar 3. Desain 3D lilitan kawat solenoid

Setelah arus listrik dari distributor sudah siap, kemudian akan diteruskan pada perangkat solenoida. Solenoida merupakan perangkat aktuator elektrik yang bergerak secara linier pada 1 arah gerak. Perangkat solenoida ini merupakan perangkat penting untuk menghasilkan gerak pada mesin listrik solenoida. Perangkat solenoida ini tersusun dari lilitan kawat tembaga dengan piston magnetik seperti yang ditunjukkan Gambar 3 dan Gambar 4.

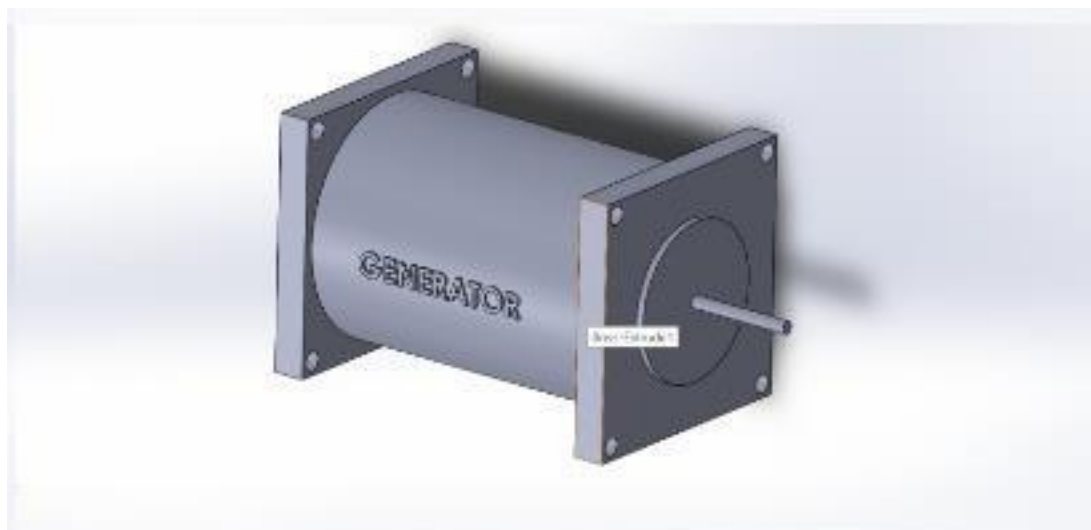
Ketika arus listrik melewati lilitan kawat solenoida, maka akan timbul medan magnet yang akan memberikan gaya pada piston magnetik sehingga akan menghasilkan gerak pada mesin.

Sesuai dengan kebutuhan mesin, arus yang melewati solenoida ini dapat divariasikan. Berdasarkan hukum Ampere pada solenoida, besar medan magnet yang timbul pada solenoida akan berbanding lurus dengan arus yang melewati. Jika dimisalkan pada perangkat solenoida ini memiliki spesifikasi kebutuhan arus 2 A hingga 65A, maka solenoida dengan 570 lilitan kawat tembaga dengan panjang 10 cm diperkirakan akan menghasilkan medan magnet sebesar $14,32 \times 10^{-3}$ T hingga $465,35 \times 10^{-3}$ T. Dengan gaya elektromagnetik yang terjadi, piston magnetik akan terdampak dan kemudian bergerak linier pada inti solenoida. Gerak

linier dari piston solenoida kemudian akan *crankshaft* mesin. ditransformasikan menjadi gerak rotasi pada



Gambar 4. Desain 3D piston magnetic



Gambar 5. Desain 3D generator

Ketika mesin listrik bekerja, maka terdapat energi mekanik yang dapat dimanfaatkan. Salah satu pemanfaatan tersebut yaitu untuk pembangkitan listrik. Perangkat pembangkit listrik pada mesin listrik solenoida ini adalah generator. Generator dapat menghasilkan listrik dengan memanfaatkan putaran mesin. Listrik yang dihasilkan dari generator ini ialah listrik arus bolak-balik atau arus AC.

Secara umum, generator yang digunakan terdiri dari stator yang merupakan sebuah rangkaian lilitan kawat disekitar rotor, sedangkan rotor sendiri

merupakan komponen gerak pada generator. Rotor dapat berupa magnet permanen maupun berupa lilitan kawat pula. Pada kendaraan bermotor, rotor berupa lilitan kawat sering digunakan berdasarkan segi keamanan. Rotor yang dimana memiliki medan magnet, ketika berputar maka garis-garis medan magnet atau fluks magnet tersebut akan memotong atau menembus lilitan kawat stator dan timbul arus listrik. Semakin cepat putaran rotor, maka semakin banyak juga fluks yang memotong stator sehingga listrik yang dihasilkan akan semakin besar pula. Dari

listrik yang telah dihasilkan, kemudian akan dilanjutkan pada perangkat regulator. Listrik dari generator kemudian akan diolah oleh

regulator. Pengolahan listrik yang keluar dari generator meliputi penyearahan arus dan penyetabilan tegangan.



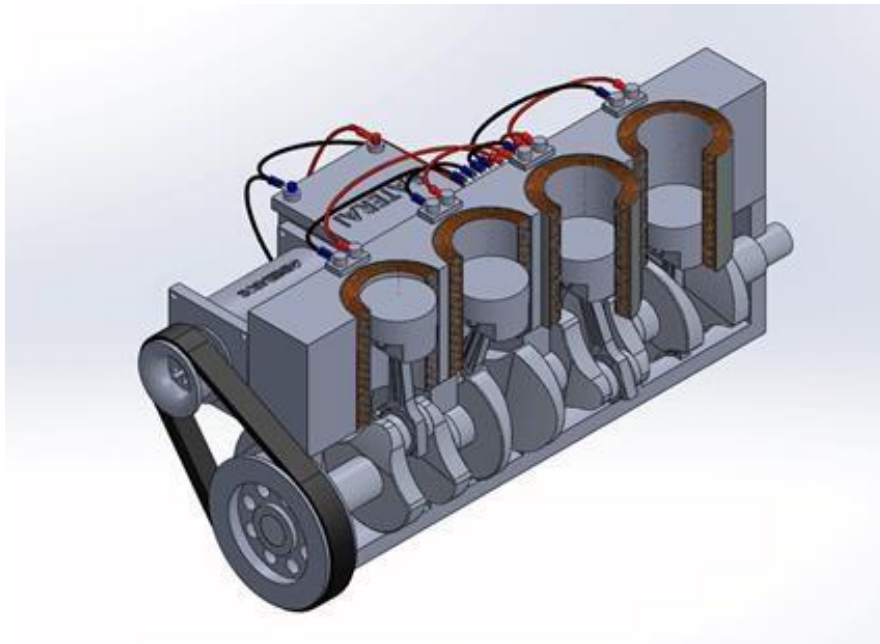
Gambar 6. Desain 3D regulator

Proses penyetabilan tegangan listrik yang dilakukan dengan memanfaatkan dioda zener. Dioda zener berguna sebagai pemutus dan penghubung tegangan pada regulator. Ketika dioda zener dalam kondisi aktif, maka arus listrik yang mengalir menuju lilitan kawat rotor akan terputus secara otomatis. Hal ini akan menyebabkan tidak adanya medan magnet dari rotor yang diciptakan sehingga stator tidak menghasilkan arus listrik. Dikarenakan berhentinya arus listrik dari stator, maka tegangan yang mengalir ke dioda zener menjadi berkurang. Ketika diode zener dalam kondisi off, maka arus yang mengalir menuju rotor kembali dan stator akan menghasilkan listrik kembali. Tegangan hasil dari penyetabilan dapat berbeda bergantung pada kebutuhan serta kemampuan dari perangkat kelistrikan kendaraan. Penggunaan perangkat regulator diperlukan untuk melakukan fungsi tersebut. Sehingga dari regulator inilah akan menghasilkan arus listrik DC, yang kemudian akan digunakan untuk mengisi ulang daya baterai atau *accu* sesuai ketentuan. Sebagai contoh ialah baterai *accu* pada kendaraan bermotor dimana untuk pengisian ulang hanya diperbolehkan pada tegangan 13,5 V hingga 14,4 V.

Penggunaan perangkat kelistrikan ini dimaksudkan untuk menunjang kinerja dari

mesin listrik solenoida menjadi lebih optimal dan efisien. Dengan menggunakan perangkat-perangkat kelistrikan tersebut, pada mesin listrik ini akan memungkinkan terjadinya siklus pengisian ulang baterai secara terus-menerus ketika mesin listrik solenoida ini digunakan. Teknologi ini seperti halnya yang sudah diterapkan pada kendaraan-kendaraan BBM dimana pengisian baterai juga simultan dengan bekerjanya mesin kendaraan.

Simulasi ini mengilustrasikan bagaimana model prototipe bekerja dengan memanfaatkan gaya dari medan elektromagnetik solenoida. Baterai mengalirkan arus listrik ke setiap solenoida secara bergantian yang telah diatur oleh distributor. Piston magnetik akan bergerak karena adanya dorongan dari medan elektromagnetik dan dari keempat piston akan saling berkolaborasi dengan dihubungkan dengan crankshaft untuk menggerakkan pulley besar. Pulley besar dihubungkan dengan pulley kecil untuk menggerakkan generator. Dari generator akan menghasilkan listrik arus bolak-balik yang dimana akan dirubah oleh regulator menjadi arus listrik searah atau *direct current*. Dengan listrik ini juga digunakan untuk mengisi ulang baterai.



Gambar 7. Simulasi 3D mesin listrik solenoida

Dari mesin listrik ini terjadi siklus energi listrik-mekanik, mekanik- mekanik, mekanik-listrik dan listrik-listrik. Dengan mesin listrik solenoida ini diharapkan masa pakai listrik dari baterai akan lebih lama dari kendaraan listrik biasa karena pada alat ini diterapkan pengisian ulang baterai secara terus menerus dan simultan dengan mesin bekerja seperti pada kendaraan mesin BBM konvensional.

PENUTUP

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa prototipe dari mesin listrik solenoida dapat dihasilkan. Penggunaan komponen elektronika yang dapat menunjang performa dan efisiensi mesin dengan menggunakan distributor dan regulator untuk menyalurkan, mengubah arus dan menstabilkan tegangan sangat diperlukan. Penggunaan komponen kelistrikan juga ditujukan untuk pemakaian baterai yang lebih optimal. Karena dari rangkaian komponen kelistrikan yang digunakan memungkinkan terjadinya siklus pengisian ulang baterai. Mesin listrik solenoida ini dapat menjadi inovasi dalam berbagai bidang salah satunya pada bidang transportasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dari Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) 2020 skema PKM Karsa Cipta. Sebagian isi artikel telah dipresentasikan pada Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) ke 33 tanggal 25-28 November 2020 di Universitas Gajah Mada berdasarkan SK No. 2414/J3//2020. Atas terselenggaranya penelitian hingga terbitnya artikel ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan serta Universitas Sebelas Maret.

DAFTAR PUSTAKA

- Goel, S., Sharma, R., & Kumar, A. (2021). A review on barrier and challenges of electric vehicle in India and vehicle to grid optimisation. *Transportation Engineering*, 4(August 2020). <https://doi.org/10.1016/j.treng.2021.100057>
- Ismiyati, Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*, 01(03), 241–248.

- Latuconsina, H. (2010). Dampak pemanasan global terhadap ekosistem pesisir dan lautan. *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 3(1), 30. <https://doi.org/10.29239/j.agrikan.3.1.30-37>
- Muziansyah, D., Sulistyorini, R., & Sebayang, S. (2015). Model Emisi Gas Buangan Kendaraan Bermotor Akibat Aktivitas Transportasi (Studi Kasus: Terminal Pasar Bawah Ramayana Kota Bandar Lampung, Vol 3, No 1: 57-70.
- Serway & Jewett. (2010). *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Salemba Teknik.