

Desain dan Manufaktur Kendaraan Riset Prototipe VI DTM-UI Berbasis Teknologi Hibrida dengan Sistem Kendali Cerdas Penuh

Danardono A Sumarsono^a, Didi Widya Utama^b, Gandjar Kiswanto^a, Ario Sunar Baskoro^a.

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus UI Depok, Jawa Barat 16424

^bJurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara
Jl Let Jend S Parman No.1. 11440, Jakarta Barat.

Abstract

This paper described the design and manufacture of the sixth prototype of hybrid electric vehicle in the Department of Mechanical Engineering Universitas Indonesia. The design concept of control system for electric hybrid vehicle was improved using fully electronic smart controller system to combine effectively the power of an internal combustion engine with electric motor. The design stage was started from 3D-CAD chassis model including of the drive train system in combination of serial-parallel and the selection of microcontroller based on the traction control system available. In the manufacturing process laboratory, we used conventional production machine to build a tubular steel main frame and numerical machine for the precision components of the vehicle. The vehicle component was designed and manufactured based on the capability of working facility and the availability material in the local market. Two 0,5 kW/48 VDC brushless electric motors which embedded on each rear rim wheel was used not only as a traction motor but also as a generator during deceleration period (regenerative system). A single cylinder of internal combustion engine integrated with continuous variable transmission was selected to deliver 6.54 kW of engine power to the rear wheels using directly two free-wheel sprockets gear drive. In order to boost the charging system during engine operation, an additional 350 Watt automobile alternator was installed to the engine. Static testing of vehicle was conducted based on the function of each system, including performance data of power transfer on both propulsion drive system which is collected using a serial interfacing communication from microcontroller to a portable computer. The static test give a good result and show that the combination of power transfer between engine and electrical motor could work properly and smoothly as indicated on the graphic of constant speed between wheel and engine rotation.

Keywords: Hybrid Electric Vehicle, Brushless Electric Motor, Regenerative, Continuous Variable Transmission.

1. PENDAHULUAN

Diperkirakan dalam 50 tahun mendatang populasi penduduk dunia akan meningkat dari 6 milyar menjadi sekitar 10 milyar serta populasi kendaraan bermotor akan meningkat pula dari 700 juta menjadi 2,5 milyar [1]. Hal ini tentunya akan berdampak pada ketersediaan sumber energi minyak bumi yang selama ini digunakan sebagai sumber penggerak sebagian besar motor bakar kendaraan masyarakat. Oleh sebab itu perlu dilakukan upaya pencarian energi alternatif serta upaya penghematan penggunaan bahan bakar sebaik mungkin mengingat efisiensi sistem propulsi pada motor bakar hanya sekitar 15-20% yang digunakan untuk traksi roda kendaraan [2]. Tersedianya banyak stasiun bahan bakar memungkinkan kendaraan ini memiliki kelebihan dalam jangkauan tempuh yang jauh. Kendaraan berpengerak motor listrik kini mulai dilirik dan diteliti karena memiliki efisiensi energi yang sangat baik disamping dapat berfungsi sebagai penghasil energi regeneratif serta sangat ramah lingkungan (*zero emission*) [3]. Namun demikian kendaraan listrik mempunyai kelemahan dalam jarak tempuh, harga jual, waktu pengisian ulang baterai dan keterbatasan stasiun pengisian

baterai sehingga aplikasi dari kendaraan elektrik belum untuk kebutuhan jarak jauh [4].

Kendaraan Listrik Hibrida (KLH)/*hybrid electric vehicle* mengkombinasikan dua atau lebih sistem propulsi yang biasanya adalah motor listrik dan motor bakar, sehingga kelebihan dari kedua sistem propulsi dapat dimanfaatkan secara bergantian menggunakan sistem kontrol yang mumpuni secara optimal.

KLH telah lama dikembangkan diberbagai negara dan berbagai produsen otomotif kelas dunia, seperti Toyota dengan nama Prius, pabrikan Honda dengan nama Insight yang sudah diproduksi secara massal namun masih berharga jual cukup mahal disamping itu kelengkapan sistem kendali yang padat teknologi mutakhir tersebut masih perlu didukung oleh infrastruktur serta kemampuan penanganan teknologinya oleh institusi terkait termasuk UI.

Sejak tahun 2000 Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia telah mengembangkan berbagai tipe kendaraan listrik dan *hybrid* yang berfokus pada kendaraan kecil dan murah, dengan memanfaatkan komponen lokal sebanyak mungkin serta mempertimbangkan ketersediaan suku cadang di pasaran lokal [5].

Dalam penelitian ini dirancang dan dibangun sebuah kendaraan riset hibrida yang merupakan penggabungan serangkaian komponen sukacadang kendaraan bermotor komersial yang dirakit pada sebuah *welded tubular steel frame* yang berbentuk kendaraan dua penumpang dan dikendalikan menggunakan mikrokontroler agar dapat bekerja dengan konfigurasi seri-paralel.

Kendaraan listrik hibrida yang didesain ini merupakan generasi ke 6, dimana merupakan kendaraan riset akademis hibrida pertama di-Indonesia dengan konfigurasi seri-paralel jenis *fully controllable electric hybrid vehicle*.

2. DESAIN PROTOTIPE KENDARAAN

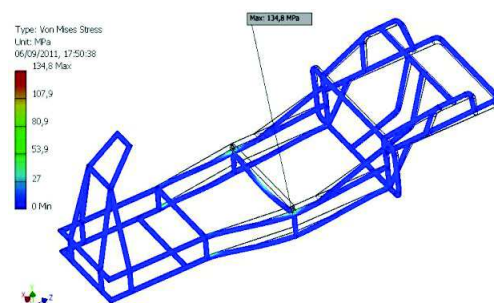
Dalam melakukan desain kendaraan ini mempertimbangkan ketersediaan komponen di pasar dan mudah didapatkan sehingga setiap komponen yang dipakai dapat dirangkai dengan beberapa tambahan komponen yang didesain secara praktis sehingga prototipe ini dapat menjadi embrio pengembangan kendaraan *hybrid* selanjutnya. Dalam artikel ini akan dibahas tahapan desain dan manufaktur komponen rangka, sistem mekanik traksi dan sistem kontrol dari prototipe KLH.

2.1. Desain rangka kendaraan dengan metode elemen hingga.

Desain rangka kendaraan dilakukan dengan menggunakan desain model 3D-CAD sehingga hubungan spasial antar komponen dapat secara detail diketahui dan mencegah terjadinya intervensi terhadap sistem kemudi, suspensi dengan rangka kendaraan. Rangka kendaraan mempunyai profil penampang pipa berdiameter 20mm, dengan dimensi keseluruhan panjang 2000mm, lebar 940mm, dan tinggi 960mm. Hasil analisis rangka kendaraan menggunakan metode elemen hingga dimana beban pengemudi diperkirakan sekitar 800N, berat baterai pada kedua sisi samping kendaraan sebesar 300N serta beban mesin motor bakar seberat 250N, didapatkan *stress* maksimum sekitar 134,8MPa (Gbr.1), dan untuk deformasi maksimum menurut metode *Von Mises* didapatkan hasil sebesar 1,13mm untuk material jenis SS-41 serta kekuatan tarik luluh sebesar 210MPa. Hasil simulasi tersebut masih dibawah batas luluh dari material dengan faktor keamanan minimum pada rangka sebesar 1,54.

Sistem suspensi roda depan menggunakan lengan ayun dengan peredam kejut jenis teleskopik untuk mendapatkan kestabilan dalam berkendara. Sistem kemudi

roda depan menggunakan sistem batang kemudi sepeda motor yang dihubungkan ke roda menggunakan *tie end rod*. Sistem suspensi roda belakang menggunakan lengan ayun dengan peredam kejut. Sistem pengereman pada keempat roda menggunakan jenis piring cakram dengan sistem pedal kaki untuk pengopersiannya. Proses manufaktur rangka dilakukan dengan pengelasan busur listrik (*arc welding*) untuk sistem rangka batang tubuler yang terlebih dahulu dilakukan proses pemotongan dan penekukan pada bagian tertentu. Seluruh komponen pada sistem kemudi, peredam kejut, dan pengereman disambungkan dan disusun pada rangka ini dengan sistem pengelasan yang sama.

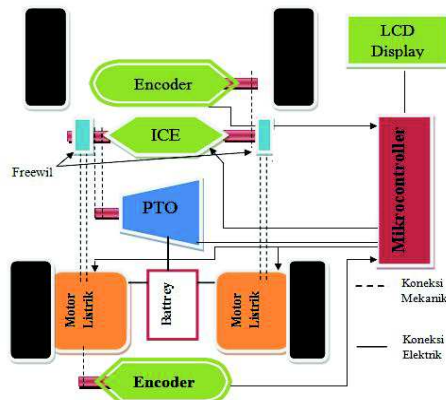


Gambar 1. Analisis kekuatan rangka menggunakan metode elemen hingga.

2.2. Desain mekanik-elektrik sistem traksi kendaraan.

KLH ini menggunakan sistem penggerak motor listrik *brushless DC* 48 Volt berdaya 0,5 kW yang terpasang pada setiap roda belakang. Motor listrik ini juga berfungsi sebagai penghasil energi secara regeneratif pada saat deselerasi, sistem penggerak kedua adalah mesin motor bakar bensin silinder tunggal 4 langkah jenis SOHC berdaya maksimum sekitar 6,54 kW pada 8000 rpm serta dilengkapi dengan transmisi sabuk variabel kontinu (*continous variable transmission*). Kedua sistem penggerak ini mempunyai konfigurasi secara seri-paralel sehingga dibutuhkan koneksi mekanik antar kedua propulsi ini (Gbr. 2). Poros luaran dari sistem transmisi dihubungkan pada kedua roda belakang menggunakan transmisi rantai yang dilengkapi kopling *freewheel* (Gbr. 3) pada kedua sproket roda belakang untukantisipasi beda putaran roda pada saat berbelok serta untuk membebaskan beban putaran pada saat motor bakar tidak bekerja. Motor bakar terpasang ditengah bagian bawah tempat duduk

pengemudi untuk menjaga kestabilan kendaraan dan untuk menurunkan titik berat kendaraan.



Gambar 2. Konfigurasi mekanik dan elektrik



Gambar 3. Kopling *freewheel* sepeda

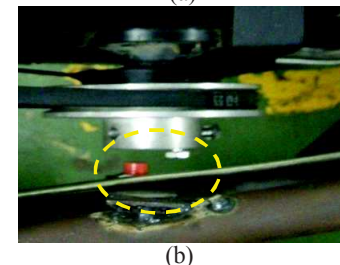
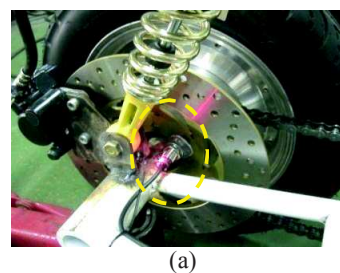
2.3. Desain Sistem Kendali

Sistem kendali cerdas (*smart control system*) merupakan bagian penting dari kendaraan *hybrid* untuk mengatur kombinasi 2 sistem propulsi yang berbeda. Rancangan sistem pengendali (*controller*) yang dikembangkan ini mengintegrasikan beberapa modul kendali seperti modul *tachometer*, modul *state of charge battery*, modul motor listrik, modul motor bakar, modul arus listrik yang selanjutnya seluruh sinyal dikirim menuju pengendali utama (*Master Control Unit/MCU*) untuk dikelola berdasarkan kecerdasan buatan yang telah diprogram. Model modul kendali ini sangat memudahkan dalam penyusunan program. Seluruh data kemudi direkam menggunakan *data logger* yang dikomunikasikan melalui antarmuka serial ke komputer (Gbr. 4).

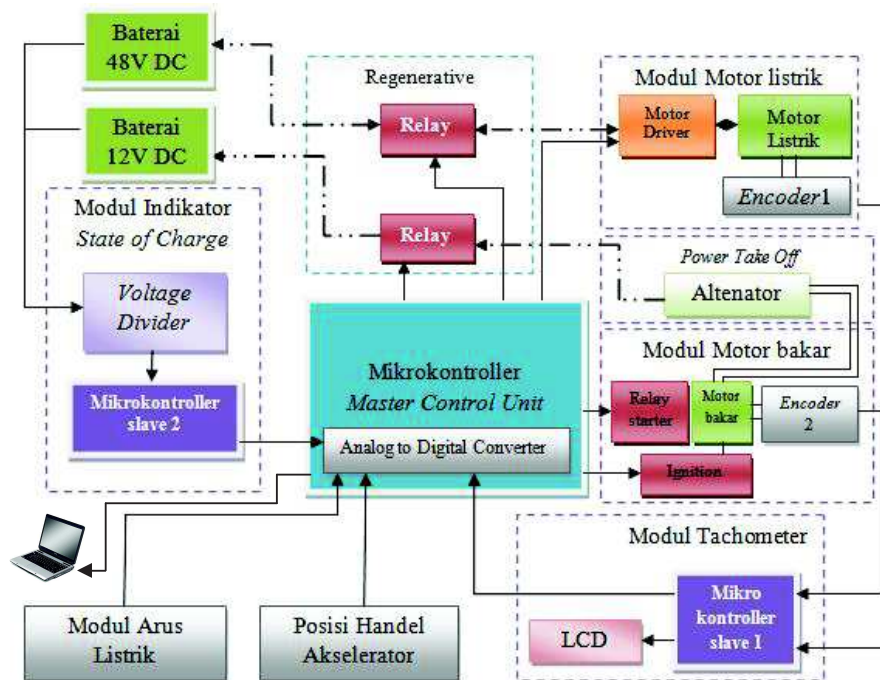
KLH didesain mempunyai beberapa kondisi yang harus dipenuhi [6] antara lain:

- Mampu mengatur fungsi motor bakar pada saat kendaraan pada kondisi trafik statis maupun dinamis (*stop and go traffic*).
- Mampu menyimpan energi melalui sistem pembangkitan energi regeneratif.
- Rasio daya antara motor listrik dan motor bakar (*hybridness*) mendekati 0,27 untuk mendapatkan efisiensi bahan bakar yang moderat [8].
- Pengoperasian secara *integral-dependent* untuk setiap sistem penggerak mula agar dapat mengganti sipas kondisi sumber energi akhir (sisabahan bakar dan energi listrik tersimpan).

Parameter masukan berupa putaran mesin, putaran roda, kecepatan kendaraan, arus listrik pada kedua motor listrik, handel akselerasi, tegangan baterai, level bahan bakar dan parameter luaran berupa daya motor listrik, putaran motor bakar, lampu indikator, Layar LCD. Sensor putaran mesin dipasang dihadapan *pulley* penggerak alternator tambahan (Gbr.10) pada poros engkol mesin skutik (Gbr. 5b) sedangkan sensor putaran roda dipasang pada roda belakang sebelah kiri (Gbr. 5a). Kecepatan kendaraan didapat dari perhitungan diameter roda dengan putaran roda yang kemudian ditampilkan pada layar LCD dan direkam oleh *data logger*.



Gambar 5. Penempatan sensor putaran roda (a) dan putaran mesin (b)



Gambar 4. Sistem kontrol traksi kendaraan hybrid yang terintegrasi [7]

Untuk keperluan evaluasi dan rekam data saat motor listrik beroperasi serta daya yang dihasilkan saat motor listrik bekerja sebagai generator regeneratif maka dipasang sensor arus listrik pada kedua kendali motor listriknya. Sensor tegangan baterai digunakan untuk memonitor kondisi *state of charge* baterai yang sinyalnya diolah pada MCU. Motor listrik yang digunakan mempunyai sistem kendali berbasis *pulse width modulation (PWM)* dengan model handel akselerasi *magnetic-resistive* untuk mengatur putaran motor, sedangkan motor bakar mempunyai model koneksi mekanik (*cable throttle*) pada handel akselerasi untuk mengatur putaran mesin. Kedua model harus digabungkan sedemikian rupa untuk mendapatkan unihandel akselerasi yang terintegrasi sehingga kendaraan dapat bergerak secara halus pada saat pergantian sistem propulsi (Gbr. 6).

Setelah penyatuan, handel akselerasi pada motor listrik harus terbalik arah sehingga sistem pembacaan sensor akselerasi harus dibalik (*inverting*). MCU memanfaatkan mikrokontroler tipe ATmega 32, yang menerima sinyal dari masing-masing modul mikrokontroler berupa sinyal biner. Perpindahan

sistem propulsi dari motor listrik ke motor bakar dan sebaliknya dilakukan dengan melakukan *threshold* batas kecepatan atas pada 30 km/h dan 20 km/h untuk batas kecepatan bawah. Selain itu jika kondisi *state of charge* baterai di bawah 70% maka sistem propulsi penggerak terpilih adalah motor bakar.

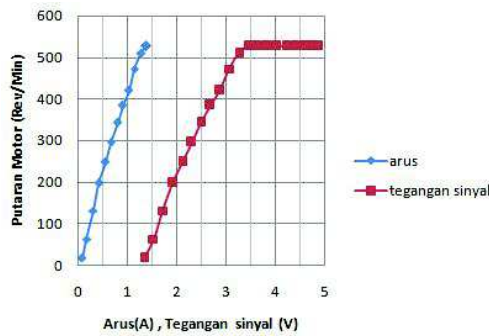


Gambar 6. Gabungan handel akselerasi untuk motor listrik (kiri) dan motor bakar (kanan)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

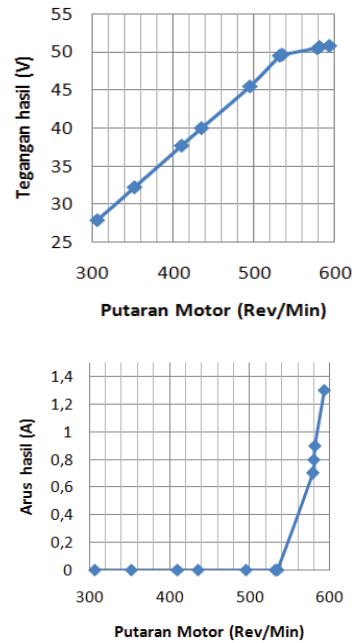
Setelah proses desain dan manufaktur selesai dilanjutkan pada tahap pengujian. Pengujian dilakukan untuk dua tahap yakni tahap pertama menguji karakteristik setiap komponen masukan dan luaran, tahap kedua adalah pengujian kontrol traksi dilakukan dengan cara statis yakni dengan

cara mengangkat kedua roda belakang dan mengoperasikan kendaraan menyerupai kondisi operasinya. Tahap pertama pengujian dilakukan untuk melihat kemampuan motor listrik sebagai penghasil torsi dengan cara memutar motor listrik secara bertahap dan mengukur arus dan putaran motor. Gambar 7 memperlihatkan kinerja motor listrik dimana hubungan kuat arus dan sinyal masih cukup linier sesuai dengan putaran roda. Selanjutnya pengujian kemampuan motor listrik untuk berakselerasi dan deselerasi (Gbr. 8), dimana kinerja regeneratif motor listrik hanya dapat menghasilkan daya sebesar 66,78 Watt pada putaran 593 rpm, namun demikian daya hasil regeneratif ini dapat saja lebih besar karena berbanding lurus dengan putaran roda.



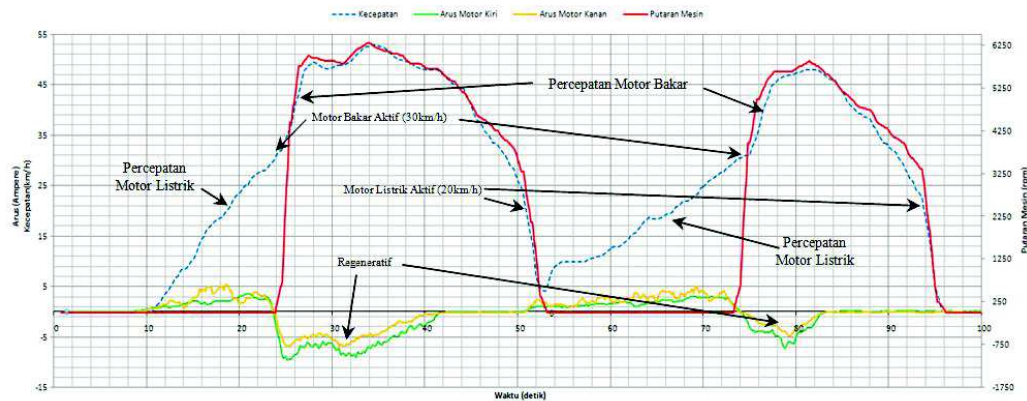
Gambar 7. Pengujian kinerja motor listrik tanpa beban.

Data pengujian statis tahap kedua (Gbr. 9) dilakukan dengan melakukan akselerasi konstan sampai kecepatan jelajah sekitar 55 km/h dan dilanjutkan dengan deselerasi hingga kecepatan nol. Adapun data yang diambil untuk setiap jeda 0.2s berupa: putaran mesin, putaran roda, ke-



Gambar 8. Regeneratif energi saat tegangan [V] dan arus [A] sesuai dengan putaran roda

putan kendaraan dan kuat arus pada kedua motor listrik penggerak. Bentuk grafik akselerasi yang terjadi relatif konstan serta indikasi perpindahan sistem propulsi dapat terjadi pada kecepatan yang diharapkan yakni 30km/h hal ini terlihat dari peningkatan secara signifikan putaran mesin dan sebaliknya operasi motor bakar akan terhenti ketika kecepatan telah mencapai 20km/h, untuk kemudian fungsi traksi dilanjutkan kembali hanya oleh motor listrik.



Gambar 9. Hasil uji statis tahap dua.

Perpindahan antarpropulsi terlihat dapat bekerja secara luwes (*smooth*) yang ditandai tidak adanya peningkatan kecepatan kendaraan secara signifikan pada titik saat perpindahan propulsi. Pengujian statis dan tanpa beban membutuhkan daya motor listrik maksimum sebesar 249,6 Watt pada kecepatan 20 km/h. Terlihat pula terjadinya perbedaan besaran arus listrik antara kedua motor listrik, hal ini karena adanya perbedaan kerugian mekanis antara kedua motor listrik. Kinerja regeneratif motor listrik menghasilkan daya maksimum sekitar 528 Watt pada putaran roda 660 rpm yang ditandai oleh besaran arus listrik negatif.

4. KESIMPULAN

Rancang bangun kendaraan riset listrik hibrid telah berhasil diwujudkan melalui proses manufaktur sederhana serta dapat bekerja sesuai yang diinginkan. Hal ini terlihat dari hasil pengujian statis dimana desain kendaraan ini mampu memenuhi kriteria yang ditentukan. Pengujian jalan (*test drive*) kendaraan ini perlu dilakukan lebih lanjut untuk mengukur konsumsi bahan bakar dan analisis penghematan dan hibriditas dari kendaraan ini sesungguhnya. Parameter pengujian batas kecepatan untuk perpindahan sistem propulsi perlu dioptimalkan agar didapat efisiensi konsumsi bahan bakar secara maksimal.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan lanjutan dari hibah Im HERE 2010 serta dapat diwujudkan berkat kerjasama para teknisi dan laboran: Sdr. Mad Yasin, sdr. Supriadi, sdr. Sarifudin, sdr. Udiyono serta (Alm) sdr. Kurniawan Hidayat, terimakasih dan penghargaan kami atas dedikasinya.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] C.C.Chan, 2004, State of The Art of Electric Vehicle, *Journal of Asian Electric Vehicles*, Vol.2, No 2.

[2] Emadi, A., K. Rajashekar, S. S. Williamson, & S. M. Lukic, 2005, Topological Overview of Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicular Power System Architectures and Configurations, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 54, No. 3, 763-770.

[3] Heliang Zhou, Feng Wei & Liqing Sun, 2004, Development Status of Electric Vehicle, *Journal of Asian Electric Vehicles*, Vol.2, No 1.

[4] João P. Trovão, Paulo G. Pereirinha, & Humberto M. Jorge, 2009, Design Methodology of Energy Storage Systems for a Small Electric Vehicle, *World Electric Vehicle Journal Vol 3*, ISSN 2032-6653.

[5] Danardono A. Sumarsono, Gandjar Kiswanto, Ario S. Baskoro, Nandy S. Putra, & Yulianto S. Nugroho, 2010, The Design and Development of Small Light Hybrid Electric Vehicles in the Mechanical Engineering Department at Universitas Indonesia, *Journal of Asian Electric Vehicles*, Vol.8, No 2.

[6] David Friedman, 2003, The Technology and Potential of Hybrid Vehicles, Union of Concern Scientist, UCS Publications.

[7] Didi Widya Utama, 2011, Pengembangan Model Sistem Kontrol Traksi Kendaraan Hibrida Berpengerak Motor Listrik yang Terintegrasi, *Tesis Magister Teknik Mesin*, UI, Depok.

[8] Danardono A. Sumarsono, Bayu Aji Girawan, Sena Mahendra, 2011, Experimental Study of Optimum Hybridness on 2.8 hp Gasoline Engine Combined with 1.5 kW of Electric Motor, *Proc. of Int. Conference on QiR-XII*, Kuta-Bali.



Gambar 10. Mesinskutik yang telah dilengkapi alternator tambahan (a), persiapan saat akan dilakukan uji kinerja statik (b).