



UNIVERSITAS INDONESIA

RANCANG BANGUN KENDARAAN LISTRIK DENGAN
MEMANFAATKAN POTENSI SEL SURYA

SKRIPSI

HERU JOVENDRA
0806455250

FAKULTAS TEKNIK PROGRAM
STUDI TEKNIK ELEKTRO DEPOK
JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

RANCANG BANGUN KENDARAAN LISTRIK DENGAN
MEMANFAATKAN POTENSI SEL SURYA

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik

HERU JOVENDRA
0806455250

FAKULTAS TEKNIK PROGRAM
STUDI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN TENAGA LISTRIK
DEPOK
JULI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Heru Jovendra

NPM : 0806455259

Tanda Tangan :

Tanggal : 5 Juli 2012

tiALAMANI' NGESAHAN

Slulp:>t ni d ajukan olch

Nrunn . Heru Jovendra

NIM : 080645525()

PrQ&tMI Sttdi : TcknElcklro

Judul Slr•JISI • R.anciUlg Bongun Keodaraan Ltstrik dcogan
Mem•nf•atkan PntCISI Sci Surya

Trlah rh
sebnhal prrsyanuan ynung diperlukan unluk memperolth gcher Sarja.na
Teknlk Jlitda Program Studi Tcknik F.ltktro, Fnkultas Ttknik, Uuiversilns
Indontsi;t

OEWAN TEN(;UJI

Po:mbimbing . Prof Dr Ir. Iw:t Gamiwa MK. MT.

Penguji 1 : Ir. Amien Rnhardjo M 1".

Pencuji 2 : Ir. I Mode Anlita Y \11"

Ditctapkan di : Dopok

Tanggal : 5 Juli 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku skripsi ini sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Dengan terselesaikannya buku skripsi ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M.K, MT. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, petunjuk dan saran-saran serta kemudahan lainnya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik;
2. Kedua orang tua saya beserta adik-adik saya yang selalu mendorong dan mendoakan sehingga buku skripsi ini terselesaikan;
3. Dosen-dosen jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmunya serta berbagai masukan dan pengarahan kepada penulis;
4. Teman teman yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini Dhanang Rosid Ridlo, Wahyuadi Tri Ananto, Rio Anggara Pratama dan rekan-rekan lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dan semoga buku skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 5 Juli 2012



Penulis

**IIAJ.AMAN PERNYATAAN PERSETWUAJ'i PIJBLUCASI
TUGASAIOIIR UNTUK ICEPENTII'iGAI'I AKM>EMIS**

Sebagai sivilaS akademi UnivmilaS Indonesia, saya yana ben.nda lalJ8an di bawah ini:

Nama : B"" JomxInl
NPM : 01064\$\$2.50
Studi : Tctaik Elcbo
Oc:pon<mcn : **Tebik**
Elcbo : Fakuhas
: Tekoil<
Jenis tacya : Skripoi

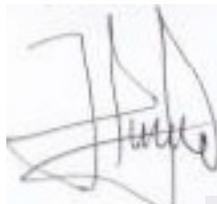
deml p<llgerobongan ilmu pengdJihuan, meny<:lfui wttuk membefikan kepada Univm ilaS Indoocesia **Oak B<bat Royalti (Not-uclo.<lw RDyolty F"" Riglrf)** aw karya ilmiah saya yana befudul:

**RAI'ICANG BANCUN KENDARAAN LJSTIUK DENGAN
MFMANJAAKAN POTENSI SEL SURYA**

be\$wiB perongbl >ana ... (jika dipcr!ubo). Oenpn llak Bebu Roytl1i Non Eksklusif ini Unh=iw Indonesia berflal: menyimpan, mnaalihmedialrormatkan, mcngelola dalam beetuk pen&kajan diJIA (dalubaJ*). menwat, dan n>empublikasibo tugas okhlr saya **selIUM** teUp mel>CWltumbo nama saya sebapi .ulislpnciptasebagai penulik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Oibuol di : Depot
Poda tanggal : Hull 2012
Yangmeoyruakan



(fferu Joveodta)

ABSTRAK

Nama : Heru Jovendra
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Kendaraan Listrik Dengan Memanfaatkan Potensi Sel Surya

Penggunaan energi alternatif merupakan salah satu cara untuk mengurangi dampak dari komsumsi energi fosil. Seiring bertambah majunya teknologi maka pengaplikasian energi alternatif juga semakin luas. Salah satunya pembuatan kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya. Prinsip dari dari kendaraan listrik ini adalah penggunaan energi yang disimpan baterai dari hasil konversi energi listrik dari sel surya. Pada skripsi ini telah dilakukan pembuatan kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya sederhana dengan menggunakan motor dc brushless 350 watt. Sumber energi utama untuk menggerakkan motor dc brushless ini berasal dari energi yang tersimpan pada baterai. Sumber energi pada baterai berasal dari energi pada panel sel surya yang dipasang pada kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya ini. Pada akhirnya, kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya ini mampu memperpanjang lifetime energi menjadi 51,9 menit.

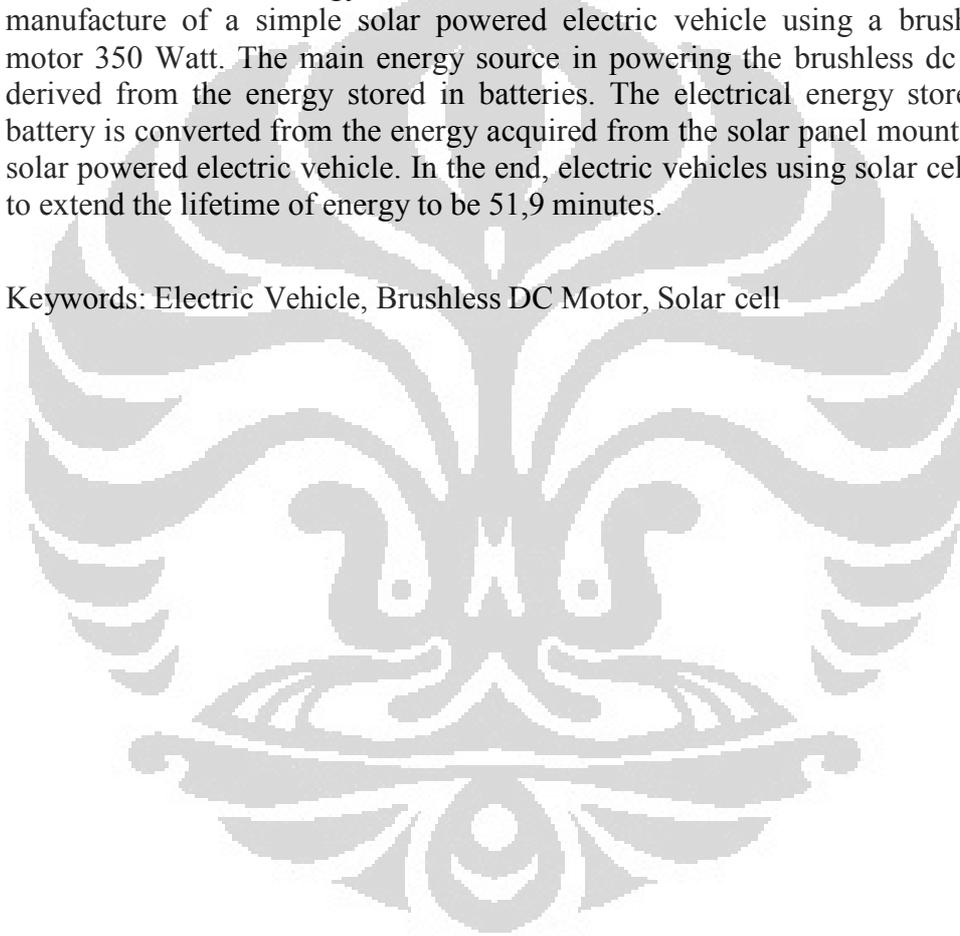
Kata kunci: Kendaraan Listrik, Motor Listrik DC Brushless, Sel Surya

ABSTRACT

Name : Heru Jovendra
Study Program : Teknik Elektro
Title : Electric Vehicle Design By Utilizing The Potential Of Solar Cell

The use of alternative energy is one way to reduce the impact of fossil energy consumption. As technological advances increase, then the application of alternative energy is more extensive. One form of application is the manufacture of solar electric vehicles. The principle of electric vehicles is the use of solar converted electrical energy that is stored in the batteries. This thesis deals in the manufacture of a simple solar powered electric vehicle using a brushless DC motor 350 Watt. The main energy source in powering the brushless dc motor is derived from the energy stored in batteries. The electrical energy stored in the battery is converted from the energy acquired from the solar panel mounted in this solar powered electric vehicle. In the end, electric vehicles using solar cells is able to extend the lifetime of energy to be 51,9 minutes.

Keywords: Electric Vehicle, Brushless DC Motor, Solar cell



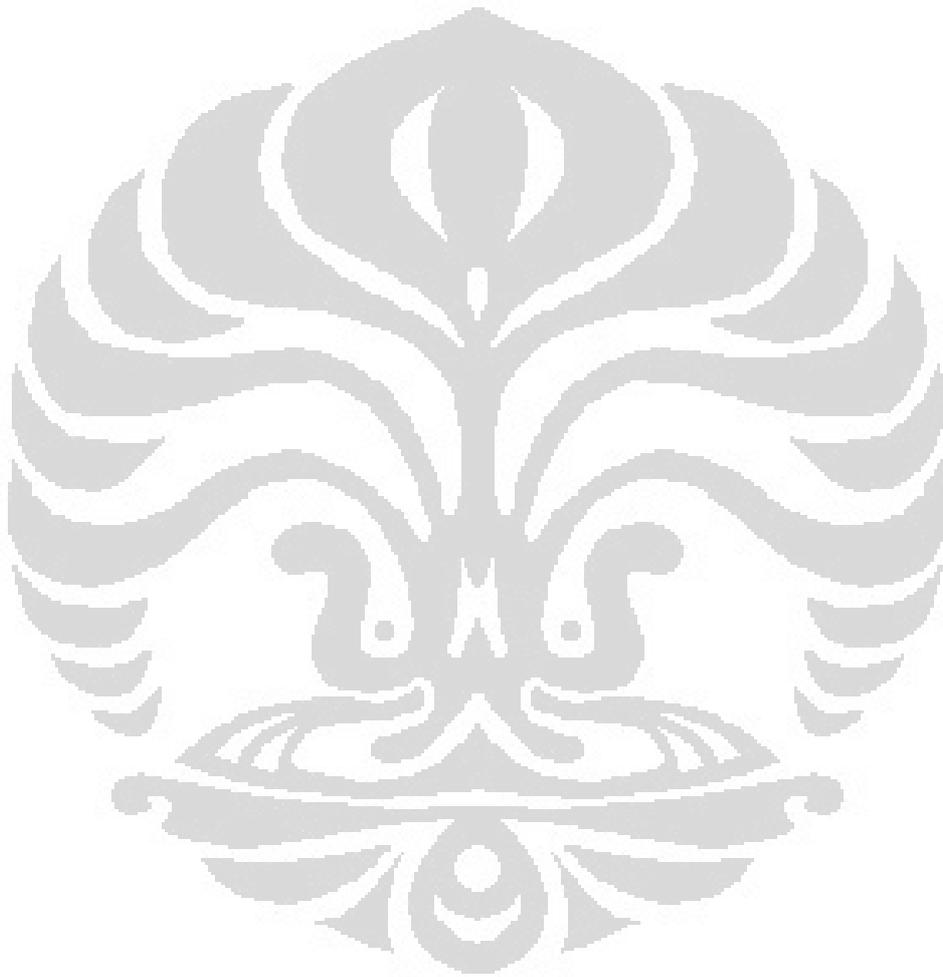
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 DASAR TEORI	
2.1 Kendaraan Listrik.....	3
2.1.1 Kendaraan Listrik Menggunakan Sel Surya.....	3
2.1.2 Diagram Blok Kendaraan Listrik Menggunakan Sel Surya.....	4
2.2 Sel Surya	5
2.2.1 Dasar Sel Surya	5
2.2.2 Perkembangan Sel Surya.....	6
2.2.3 Energi Listrik Yang Dihasilkan	7
2.2.4 Faktor Pengoperasian Sel Surya.....	7
2.3 Baterai.....	9
2.3.1 Pengisian Energi Pada Baterai.....	12
2.3.2 Kapasitas Baterai.....	13
2.3.3 Faktor Yang Mempengaruhi Kapasitas Baterai	14
2.3.4 Jenis-Jenis Baterai.....	15
2.4 Pengendalian Motor Dc	15
2.4.1 Pengendalian Kecepatan Motor Dc.....	15
2.4.2 Metode Pengendalian Kecepatan Motor Dc	16
2.5 Motor Dc	21
2.5.1 Kontruksi Motor Dc Brushless	22
2.5.2 Cara Kerja	23
BAB 3 PERANCANGAN KENDARAAN LISTRIK	
3.1 Pemodelan Kendaraan Listrik	28
3.1.1 Pemodelan Gaya	28
3.1.2 Pemodelan Transmisi Mekanik	30
3.1.3 Pemodelan Kelistrikan.....	31
3.2 Desain Kendaraan Listrik	33
3.2.1 Gambar Kendaraan Listrik	33

3.2.2 Konfigurasi Dan Spesifikasi Kendaraan Listrik	35
3.3 Perancangan Mekanik	37
3.3.1 Power Steering Dan Pengereman	37
3.3.2 Roda Gigi	41
3.4 Perancangan Kelistrikan	40
3.4.1 Pengisian Baterei	40
3.4.2 Controller	45
BAB 4 PENGUKURAN DAN ANALISA	
4.1 Mekanisme Pengukuran	49
4.1.1 Diagram Blok Pengukuran	50
4.1.2 Perangkat Yang Digunakan Dalam Pengukuran	50
4.1.3 Waktu Dan Tempat Pengukuran	51
4.2 Pengukuran Dan Analisa Sistem Mekanik	51
4.2.1 Rangkaian Dan Proses Pengukuran	51
4.2.2 Hasil Pengukuran Sistem Mekanik	52
4.2.3 Analisa Hasil Pengukuran	53
4.3 Pengukuran Dan Analisa Pengisian Baterei Oleh Sel Surya 80 Wp	55
4.3.1 Rangkaian Dan Proses Pengukuran	55
4.3.2 Analisa Hasil Pengukuran	56
4.3.3 Analisa Hasil Pengukuran Dengan Perhitungan Secara Teori.....	58
4.4 Pengukuran Dan Analisa Pengisian Baterei Oleh Sel Surya 100 Wp	60
4.4.1 Rangkaian & Prosedur Pengukuran	60
4.4.2 Analisa Hasil Pengukuran	61
4.4.3 Analisa Hasil Pengukuran Dengan Hasil Perhitungan Secara Teori...	62
4.5 Pengukuran Dan Analisa Kendaraan Listrik	65
4.5.1 Rangkaian & Proses Pengukuran.....	65
4.5.2 Hasil Pengukuran	65
4.5.3 Hasil Perhitungan Secara Teori	66
4.5.4 Analisa Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Hasil Perhitungan..	67
4.6 Pengukuran Dan Analisa Kendaraan Listrik Dengan Menggunakan Sel Surya	68
4.6.1 Rangkaian Pengukuran	68
4.6.2 Hasil Pengukuran	68
4.6.3 Hasil Perhitungan Secara Teori	69
4.6.4 Analisa Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Hasil Perhitungan..	71
BAB 5 KESIMPULAN.....	73
DAFTAR ACUAN.....	74
DAFTAR REFERENSI	75
LAMPIRAN	76

DAFTAR TABEL

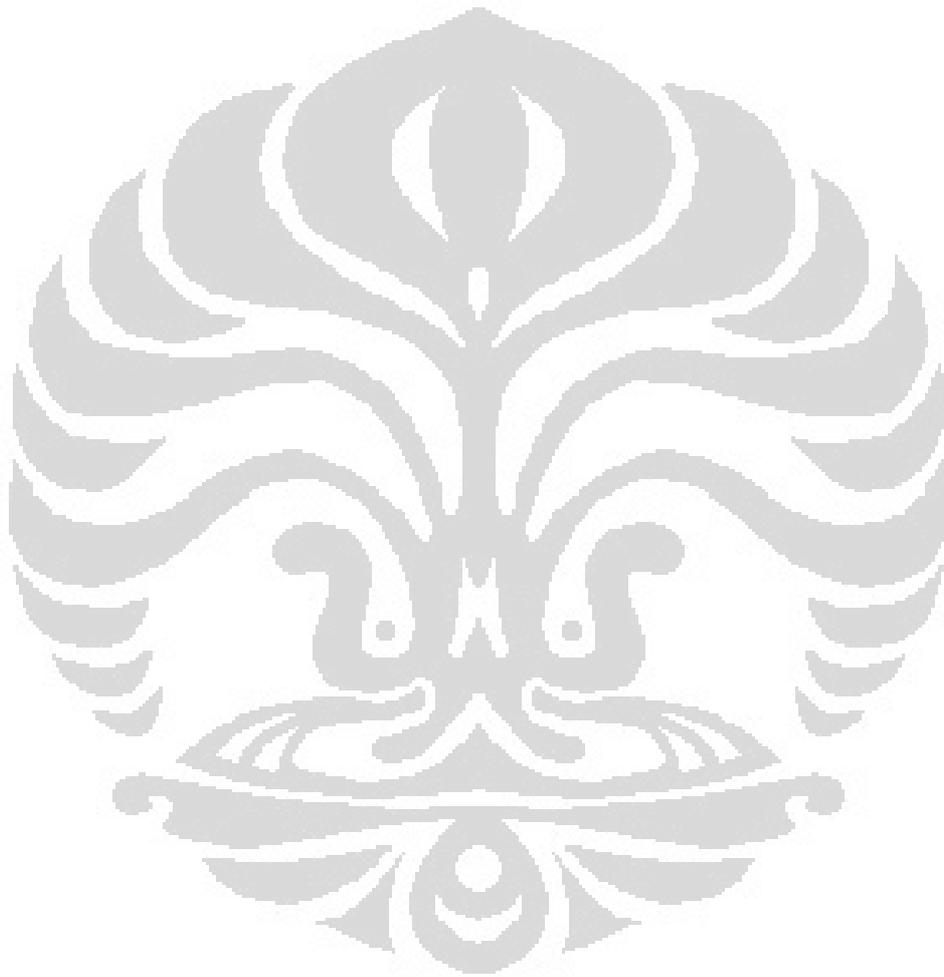
Tabel 2.1 Kapasitas Baterai.....	13
Tabel 3.1 Spesifikasi Kendaraan Listrik	26
Tabel 3.2 Spesifikasi Sel Surya 80 Wp	42
Tabel 3.3 Spesifikasi Sel Surya 100 Wp	43
Tabel 3.4 Spesifikasi Regulator.....	44
Tabel 3.5 Spesifikasi Baterai	45
Tabel 4.1 Perhitungan Daya Dan Energi Yang Dihasilkan Oleh Sel Surya ..	58
Tabel 4.2 Perhitungan Daya Dan Energi Yang Dihasilkan Oleh Sel Surya ..	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Blok Kendaraan Listrik Menggunakan Sel Surya	4
Gambar 2.2 Diagram Dari Sebuah Potongan Sel Surya (PV)	6
Gambar 2.3 Grafik I-V Curve	7
Gambar 2.4 Effect Of Cell Temperature On Voltage	8
Gambar 2.5. Effect Of Insolation Intensity On Current	8
Gambar 2.6 Ekstra Luasan Panel PV Dalam Posisi Surya	9
Gambar 2.7 Sel Baterei	10
Gambar 2.8 Hubungan Antara Daya,Kecepatan Dan Beban	16
Gambar 2.9 Penegndalian Motor Menggunakan Switch	16
Gambar 2.10 Pengendalian Motor Dengan Switch Ketika Kecepatan Rendah	17
Gambar 2.11 Pengendalian Motor Dengan Switvh Ketika Kecepatan Tinggi	17
Gambar 2.12 Skema Kontrol Daya Dengan Tegangan	18
Gambar 2.13 Kontrol Thryristor Pada DC Motor	18
Gambar 2.14 Output Kecepatan Rendah Dan Kecepatan Tinggi Dari Kontrol	19
Gambar 2.15 Rangkaian Kontrol Daya Mosfet	20
Gambar 2.16 Putaran Dinamo Motor Secara	21
Gambar 2.17 Konstruksi Motor Dc Brushless	22
Gambar 2.18 Kumparan Pada Stator	25
Gambar 2.19Metode Six Step	26
Gambar 3.1 Gaya Gaya Yang Bekerja	27
Gambar 3.2 Skematik Sistem Transmisi	30
Gambar 3.3 Skematik Komponen Utama Kelistrikan	32
Gambar 3.4 Desain Kendaraan Listrik	33
Gambar 3.5 Kendaraan Listrik	34
Gambar 3.6 Tampak Samping	34
Gambar 3.7 Tampak Atas Dan Tampak Depan	35
Gambar 3.8 Konfigurasi Sistem	35
Gambar 3.9 Tampak Atas Posisi Ketika Stir Dalam Keadaan Normal	37
Gambar 3.10 Hubungan Antara Kedua Tuas	37
Gambar 3.11 Tampak Atas Stir Ketika Dibelokkan Ke Kanan Dan Ke Kiri	38
Gambar 3.12 Stir, Rem Dan Cakram Pada Roda	38
Gambar 3.13 Hubungan Gear Motor Dengan Gear Pada Poros Roda	39
Gambar 3.14 Rangkaian Pengisian Baterei Dari Sel Surya 100 Wp	41
Gambar 3.15 Rangkaian Pengisian Baterei Dari Sel Surya 80 Wp	41
Gambar 3.16 Desain Panel Sel Surya 80 Wp	42
Gambar 3.17 Desain Panel Sel Surya 100 Wp	43
Gambar 3.18 Regulator Tegangan	44
Gambar 3.19 Baterei	44
Gambar 3.20 Desain Baterei	45
Gambar 3.21 Skema Sistem Controller Motor	46
Gambar 3.22 Pedal Gas	47
Gambar 3.23 Controller Motor DC Brushless	47
Gambar 3.24 Motor DC Brushless	48
Gambar 4.1 Blok Diagram Alir Pengukuran	50
Gambar 4.2 Rangkaian Pengujian Pada Sistem Mekanik	52
Gambar 4.3 Rangkaian Pengukuran Pengisian Baterai Oleh Sel Surya 80Wp	55

Gambar 4.4 Grafik Pengukuran Tegangan Pada Baterai.....	57
Gambar 4.5 Grafik Arus Yang Masuk Ke Baterai	58
Gambar 4.6 Rangkaian Pengukuran Pengisian Baterai Oleh Sel Surya 100Wp ...	60
Gambar 4.7 Grafik Pengukuran Tegangan Baterai.....	61
Gambar 4.8 Grafik Arus Yang Masuk Ke Baterai	62
Gambar 4.9 Ilustrasi Pengukuran Kendaraan Listrik.....	65
Gambar 4.10 Grafik Penurunan Tegangan Baterai.....	66
Gambar 4.11 Grafik Penurunan Tegangan Baterai.....	69



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah hal yang sangat penting dalam kehidupan manusia, karena hampir setiap segi kehidupan manusia memerlukan energi. Energi mempunyai banyak jenis dan beragam macamnya, antara lain energi panas, energi gerak, dan energi listrik. Salah satu energi yang dapat diandalkan adalah energi matahari, yaitu sebuah energi yang terpancar ke bumi baik dalam bentuk panas maupun cahaya. Energi matahari merupakan salah satu energi yang tidak dapat habis. Dengan adanya kemajuan teknologi dibentuklah sel yang dapat menerima cahaya matahari dan mengubahnya ke energi listrik yang dinamakan solar cell atau sel surya.

Dengan perkembangan ilmu dan teknologi di beberapa negara maju, maka para ilmuwan telah mencoba untuk menggunakan sumber energi yang berasal dari sel surya. Sel surya merupakan suatu panel yang terdiri dari beberapa sel dan beragam jenis yang memiliki dinamika titik kerja disebabkan karena intensitas sinar matahari yang berubah-ubah sepanjang hari mengikuti waktu dan juga karena pengaruh cuaca. Tenaga surya merupakan potensi energi terbarukan karena Indonesia terletak di garis khatulistiwa dan memperoleh sinar matahari rata-rata 8 jam/hari. Besar daya yang dapat dibangkitkan energi surya sekitar 100 watt per m^2 , pada efisiensi sel surya sekitar 10%. Untuk membangkitkan daya 1 kW diperlukan tanah seluas $10 m^2$, 1.000 kW diperlukan tanah seluas $10.000 m^2$ (1 ha). Dengan demikian, pada sistem yang cukup besar, hal ini akan menimbulkan keterbatasan-keterbatasan berupa penyediaan tanah yang terlampau luas. Akan tetapi untuk sistem yang lebih kecil, sel surya dapat dijadikan solusi untuk meminimalisir penggunaan bahan bakar.

Lalu muncul sebuah pemikiran untuk membuat sebuah kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya. Kendaraan listrik tenaga surya ini diharapkan bisa menjadi sebuah alternatif dari keterbatasan dan kelangkaan energi. Kendaraan listrik ini mempunyai penggerak utama berupa motor listrik dc brushless. Motor ini dilengkapi dengan controller motor yang bekerja pada tegangan 48 volt dan

mengonsumsi arus sekitar 2-7 A. Energi yang digunakan pada kendaraan listrik sangat erat berhubungan dengan penyediaan sumber energi dari baterai dan panel sel surya. Untuk itu penulis mencoba melakukan penelitian pada kendaraan listrik dengan memanfaatkan potensi sel surya.

1.2 Tujuan Penelitian

Secara umum, tujuan penelitian buku skripsi ini adalah untuk merancang kendaraan listrik dan mengetahui kontribusi sel surya pada kendaraan listrik.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan buku skripsi ini penulis akan membatasi pokok bahasan masalah mengenai kontribusi sel surya pada kendaraan listrik. Alat ukur yang digunakan adalah multimeter digital, V-A meter analog dan tachometer digital. Pada pengukuran kedua sel surya hanya untuk mengetahui performa sel surya ketika pengisian energi dari kondisi baterai yang telah terisi 50% sampai 100 %. Pada pengukuran kendaraan listrik hanya memperlihatkan performa kendaraan listrik ketika kondisi baterai dalam keadaan 100% hingga 50%.

Selanjutnya, analisis perhitungan secara teori yang dilakukan dibatasi hanya pada proses pengukuran yang telah dilakukan. Nilai-nilai parameter pada perhitungan seperti daya yang digunakan motor diasumsikan tetap. Di samping itu, akan dibahas pula mengenai analisa perbandingan hasil pengukuran dan hasil perhitungan kendaraan listrik .

1.4 Sistematika Penulisan

Buku skripsi ini dibagi menjadi lima bab, yaitu bab pertama berupa pendahuluan yang berisi tentang latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Selanjutnya bab 2 berupa landasan teori yang menjelaskan tentang kendaraan listrik dan komponen-komponen yang digunakan pada kendaraan listrik .

Bab berikutnya yaitu bab 3, dijelaskan tentang pemodelan, desain dan perancangan dari kendaraan listrik tenaga. Kemudian bab 4 berupa prosedur pengukuran serta perbandingan hasil pengukuran dan hasil perhitungan yang telah dilakukan. Dan yang terakhir yaitu bab 5 berupa kesimpulan yang memuat suatu kesimpulan dari hasil penelitian.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Kendaraan Listrik

Kendaraan listrik adalah kendaraan yang menggunakan satu atau lebih motor listrik atau motor traksi sebagai tenaga penggerakannya. Ada 3 macam kendaraan listrik yang sekarang ada di pasaran, yaitu kendaraan listrik yang mendapatkan tenaga dari stasiun pengisian luar, kendaraan listrik yang mendapatkan tenaga dari listrik yang disimpan yang tenaga awalnya dari sumber luar, dan kendaraan listrik yang mendapatkan tenaga listriknya dari generator listrik, misalnya mesin pembakaran dalam (disebut juga kendaraan listrik hibrida), atau sel hidrogen. Kendaraan listrik mencakup kendaraan listrik, kereta listrik, truk listrik, pesawat listrik, perahu listrik, skuter dan sepeda motor listrik, dan pesawat luar angkasa listrik.

Kendaraan listrik pertama kali muncul pada pertengahan abad ke-19, ketika listrik lebih dipilih sebagai tenaga penggerak pada kendaraan. Pada waktu itu, kendaraan listrik menawarkan kenyamanan yang lebih baik serta pengoperasian yang lebih mudah daripada kendaraan-kendaraan berbahan bakar bensin. Saat ini, mesin pembakaran dalam memang digunakan sebagai tenaga penggerak utama pada kendaraan tapi tenaga listrik sendiri masih dominan pada kendaraan lainnya, misalnya kereta dan kendaraan kecil.

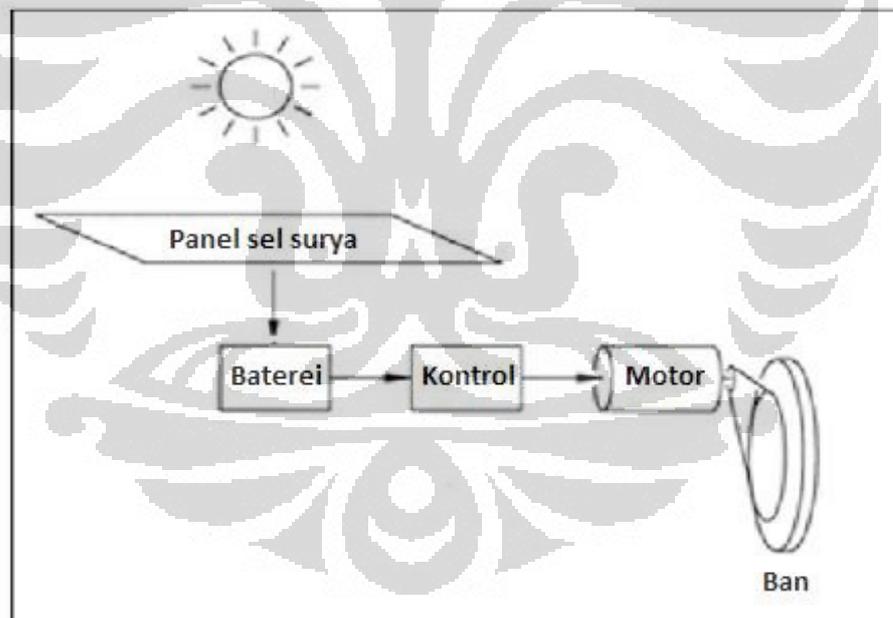
2.1.1 Kendaraan Listrik

Kendaraan listrik adalah kendaraan yang digerakkan dengan motor listrik, menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpanan energi lainnya. Kendaraan listrik sangat populer pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, tapi kemudian popularitasnya meredup karena teknologi mesin pembakaran dalam yang semakin maju dan harga kendaraan berbahan bakar bensin yang semakin murah. Krisis energi pada tahun 1970-an dan 1980-an pernah membangkitkan sedikit minat pada kendaraan-kendaraan listrik, tapi baru pada tahun 2000-an lah para produsen kendaraan baru menaruh perhatian yang serius pada kendaraan listrik. Hal ini disebabkan karena harga minyak yang melambung tinggi pada tahun 2000-an serta banyak masyarakat dunia yang sudah sadar akan buruknya dampak emisi gas rumah kaca.

Kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya adalah kendaraan yang menggunakan sel PV untuk mengkonversi sinar matahari menjadi listrik untuk disimpan pada baterai untuk kemudian digunakan untuk menggerakkan motor listrik. Kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya ini menggabungkan teknologi yang biasanya digunakan dalam sepeda, otomotif dan energi alternatif. Desain kendaraan listrik sangat terbatas oleh jumlah masukan energi ke dalam kendaraan. Sebagai alternatif, kendaraan listrik ini menggunakan baterai yang diisi oleh panel surya.

2.1.2 Diagram Blok Kendaraan Listrik Menggunakan Sel Surya

Sumber energi yang didukung oleh energi matahari. Komponen utama dari sebuah kendaraan listrik adalah panel surya yang berfungsi mengumpulkan energi dari matahari dan mengkonversikannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan.



Gambar 2.1 Diagram blok Kendaraan listrik

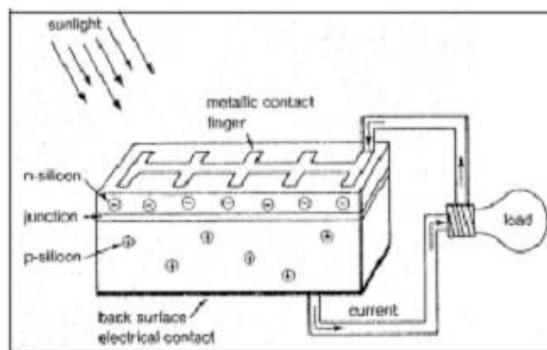
Sel-sel surya mengumpulkan sebagian dari energi matahari dan menyimpannya ke dalam baterai. Kemudian energi yang tersimpan di baterai digunakan untuk menggerakkan motor. Pengaturan kecepatan putaran motor diatur oleh controller motor.

2.2 Sel Surya

Pada sekitar akhir abad 19, aliran listrik surya ditemukan oleh ahli fisika Jerman bernama Alexandre Edmond Becquerel secara kebetulan dimana berkas sinar matahari jatuh pada larutan elektro kimia bahan penelitian, sehingga muatan elektron pada larutan meningkat. Pada awal abad 20, Albert Einstein menamakan penemuan ini dengan “Photoelectric Effect”, yang kemudian menjadi pengertian dasar pada “Photovoltaic Effect”, dimana selempeng metal melepaskan “Photon” partikel energi cahaya ketika terkena sinar matahari. Gelombang cahaya sinar lembayung (ultraviolet) adalah sinar yang bermuatan energi Foton tinggi dan panjang gelombangnya pendek, sedangkan sinar merah (infra-red) adalah sinar yang bermuatan energi Foton rendah dan dalam bentuk gelombang panjang. Sekitar tahun 1930, ditemukan konsep “Quantum Mechanics” untuk menciptakan teknologi baru “solid-state”, dimana perusahaan Bell Telephone Research Laboratories menciptakan Sel Surya padat yang pertama. Tahun 1950 - 1960, teknologi disain dan efisiensi Sel Surya terus berlanjut dan diaplikasikan ke pesawat ruang angkasa (photovoltaic energies). Tahun 1970-an, dunia menggalakkan sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan, maka PV mulai diaplikasikan ke “low power warning systems” dan “offshore buoys” (tetapi produksi PV tidak dapat banyak karena masih “handmade”). Baru pada tahun 1980 an, perusahaan-perusahaan PV bergabung dengan instansi energi pemerintah agar dapat lebih memproduksi PV sel dalam jumlah besar, sehingga harga sel-surya dapat serendah mungkin.

2.2.1 Dasar Sel Surya

Sel Surya diproduksi dari bahan semikonduktor yaitu silikon berperan sebagai isolator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas.



Sumber : Steven J.Strong, *The Solar Electric House*, p.18

Gambar 2.2 Diagram dari sebuah potongan Sel Surya (PV sel)

Sebuah Silikon Sel Surya adalah sebuah diode yang terbentuk dari lapisan atas silikon tipe n (silicon doping³ of “phosphorous”), dan lapisan bawah silikon tipe p (silicon doping of “boron”) seperti gambar 2.2. Elektron-elektron bebas terbentuk dari million photon atau benturan atom pada lapisan penghubung (junction= 0.2-0.5 micron⁴) menyebabkan terjadinya aliran listrik.

2.2.2 Perkembangan Sel Surya

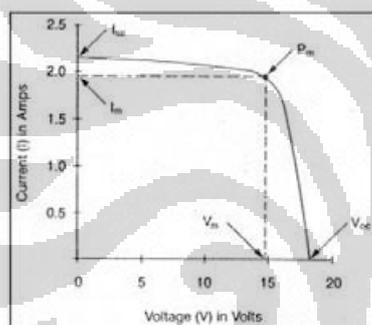
Pengembangan Sel Surya sembarain banyak menggunakan bahan semikonduktor yang bervariasi dan Silikon yang secara Individu (chip) banyak digunakan, diantaranya :

- a. Mono-crystalline (Si), dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentukan bujur. Sekarang Mono-crystalline dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.
- b. Polycrystalline / Multi-crystalline (Si), dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul diatas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibanding dengan sel Polycrystalline (efektivitas 18%), tetapi biaya lebih murah.
- c. Gallium Arsenide (GaAs). Galium Arsenide pada unsur periodik III-V berbahan semikonduktor ini sangat efisien dan efektif dalam menghasilkan energi listrik sekitar 25%. Banyak digunakan pada aplikasi pemakaian Sel Surya.

2.2.3 Energi Listrik Yang Dihasilkan

Sel surya dalam menghasilkan listrik tidak tergantung pada besaran luas bidang silikon, dan secara konstan menghasilkan energi berkisar ± 0.5 volt maksimum 600 mV pada 2 amp, dengan kekuatan radiasi solar matahari 1000 W/m² = "1 Sun" akan menghasilkan arus listrik (I) sekitar 30 mA/cm² per sel surya.

Grafik I-V Curve (gambar 2.3) menggambarkan keadaan sebuah sel surya beroperasi secara normal. Sel surya menghasilkan energi maximum jika nilai V_m dan I_m juga maximum. I_{sc} adalah arus listrik maximum pada nilai volt = nol; I_{sc} berbanding langsung dengan ketersediaan sinar matahari. V_{oc} adalah volt maximum pada nilai arus nol; V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan sel surya untuk mengisi baterai.



Sumber: Strong, Steven J. The Solar Electric House, p.58

I_{sc} = short-circuit current

V_{sc} = open-circuit voltage

V_m = voltage maximum power

I_m = current maximum power

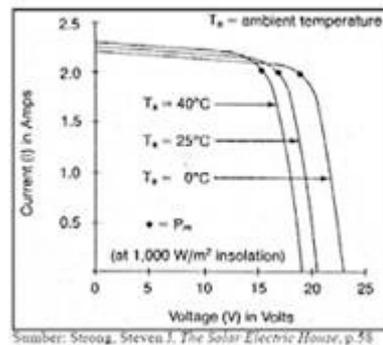
P_m = Power maximum-output dari PV array (watt)

Gambar 2.3 Grafik I-V Curve

2.2.4 Faktor Pengoperasian Sel Surya

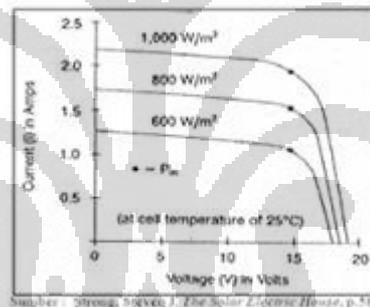
Pengoperasian sel surya agar didapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada faktor berikut:

- (Ambient air temperature) Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25⁰ C). Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan (V_{oc}). Pada gambar 2.4, setiap kenaikan temperatur sel surya 10 Celsius (dari 25⁰C) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10⁰C .



Gambar 2.4 Effect of Cell Temperature on Voltage (V)

b. Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada current (I) sedikit pada tegangan (lihat gambar 2.5).



Gambar 2.5 Effect of Insolation Intensity on Current (I)

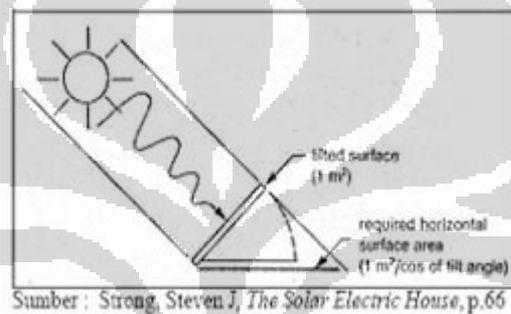
c. Kecepatan tiup angin disekitar lokasi larik sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca larik sel surya.

d. Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan sel surya.

e. Orientasi dari rangkaian sel surya (larik) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Sudut orientasi (tilt angle) dari panel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum (lihat penjelasan tilt angle). Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara latitude, maka panel surya sebaiknya diorientasikan ke

Selatan, orientasi ke Timur Barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.

f. Posisi letak sel surya (larik) terhadap matahari (tilt angle). Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel sel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 . Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak urusan antara sinar matahari dengan bidang PV, maka ekstra luasan bidang panel sel surya dibutuhkan (bidang panel sel surya terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari).



Gambar 2.6 Ekstra Luasan Panel PV dalam posisi datar

Panel sel surya pada Equator (latitude 0 derajat) yang diletakkan mendatar (tilt angle = 0) akan menghasilkan energi maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan “tilt angle” yang optimum.

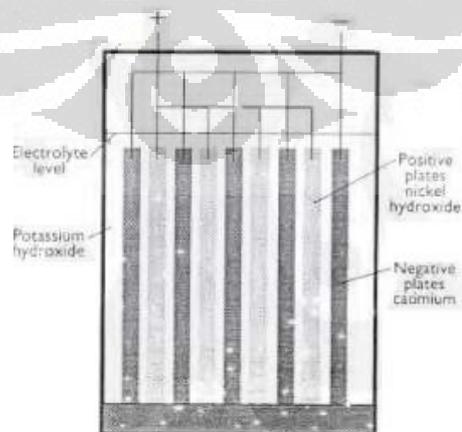
2.3 Baterai

Apabila dua macam batang logam dimasukkan ke dalam larutan, yang didalam ilmu kimia, dinamakan garam, asam dan basa, serta selanjutnya dari luar dihubungkan satu sama lain dengan sebuah penghantar, maka ternyata ia dapat dilalui arus. Susunan yang terdiri dari larutan tadi (elektrolit), dengan kedua batang logam (elektroda) kita sebut sebagai sel atau elemen.

GGL suatu elemen sama sekali tidak bergantung pada ukuran-ukurannya, tetapi hanya bergantung pada elektrolit dan elektroda yang kita gunakan. Tahanan dalam sebuah elemen bergantung pada jarak antara elektroda-elektroda dan kepada penampang. Sehingga tahanan dalam elemen berbanding lurus dengan jarak antara elektroda, namun sebaliknya tahanan dalam elemen berbanding

terbalik dengan penampang elektroda. Batang logam yang dipergunakan sebagai elektroda dapat berupa seng dan tembaga, batang seng tersebut lambat-laun akan habis karena proses kimia, oleh karena itu maka elemen yang mempunyai ukuran yang besar akan lebih lama memberikan arus. Bergantung kepada ukurannya, sebuah elemen dapat memberikan sejumlah arus listrik tertentu. Apabila dinyatakan kekuatannya adalah 10 Amp.hour, maka ini berarti bahwa hasil perkalian dari arus yang keluar dan lama waktu yang diberikan adalah 10. Tetapi jangan keliru bahwa selama 10 jam terus-menerus elemen tersebut dapat memberikan arus sebesar 1 Amp, karena ini terlalu berat bagi elemen tersebut untuk melakukannya. Kumpulan dari beberapa elemen tersebut kita sebut sebagai baterai / accu.

Baterai merupakan bagian yang cukup vital pada kendaraan listrik dalam hal menyimpan energi listrik untuk dapat digunakan sebagai daya penggerak motor dan kontrolnya. Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian / charge energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran / discharge energi kimia diubah menjadi energi listrik (ketika baterai tersebut memberikan arus). Elektroda, yang juga dinamakan sebagai pelat-pelat aki, terdiri dari pelat-pelat positif dan negatif. Pelatnya sendiri terdiri dari rangka yang dibuat dari timah keras dan didalamnya terdapat superoksida timah yang berwarna coklat. Superoksida timah inilah yang merupakan masa aktif dari elektroda dan dapat dilalui oleh elektrolit karena mereka berlubang-lubang (poreus). Pada pelat yang negatif masa aktif ini terdiri dari timah yang berpori, dan berwarna abu-abu



Gambar 2.7 sel baterai

Konstruksi pelat-pelat masa memiliki kerugian, yaitu bahwa mereka akan rusak jika baterai aki harus memberi arus yang lebih besar dari yang semestinya, atau diisi dengan arus yang besarnya melampaui dari apa yang seharusnya. Dibuat karena itu pabrik pembuat aki telah menetapkan besarnya arus tersebut sehingga baterai aki tersebut tidak lekas rusak. Tetapi sebaliknya apabila arus yang dipergunakan kurang dari yang ditetapkan tadi, maka hal ini tidak akan merusak baterai aki tersebut. Tetapi lambat-laun masa aktif tadi sedikit demi sedikit jatuh dan mengendap di dasar bejana. Jika pelat-pelat ini menempel pada dasar bejana, maka endapan tadi akan mengadakan hubungan di antara pelat-pelat yang akan menyebabkan adanya arus didalam baterai aki (mungkin saja akan terjadi hubungan singkat). Untuk menghindari kejadian tersebut, maka pelat-pelat tadi diletakkan diatas rusuk-rusuk yang terdapat pada dasar bejana baterai aki tersebut.

Antara satu sel dengan sel lainnya dipisahkan oleh dinding penyekat yang terdapat dalam bak baterai, artinya tiap ruang pada sel tidak berhubungan karena itu cairan elektrolit pada tiap sel juga tidak berhubungan (dinding pemisah antar sel tidak boleh ada yang bocor). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa larutan elektrolit terdiri dari larutan asam belerang atau asam sulfat (H_2SO_4). Asam sulfat yang dipakai harus murni dan sama sekali tidak boleh memakai asam yang tercampur dengan kotoran-kotoran (chlor misalnya), yang berakibat rusaknya pelat-pelat tersebut. Biasanya pabrik pembuat baterai aki menyertakan jenis asam sulfat seperti apa yang dapat dipakai untuk baterai aki tersebut. Asam sulfat pekat tadi harus dicampur dengan air sulingan. Apabila kita kesulitan untuk mendapatkan air suling tersebut, maka sebagai pengganti air hujanlah yang paling bagus, ditampung dalam bejana gelas bersih, setelah hujan turun beberapa lama (jadi kotoran-kotoran dari udara telah hilang).

Baterai yang telah kosong tidak boleh didiamkan saja dan harus lekas kita isi kembali, karena sulfat timah tadi akan berubah menjadi kristal yang akan menutupi lubang-lubang masa aktif dan menghalangi asam masuk kedalamnya. Baterai dalam keadaan tak terisi (discharge). Air memiliki berat jenis 1 kg/dm^3 ($1 \text{ kg per } 1000 \text{ cm}^3$ atau 1 liter) dan asam sulfat memiliki berat jenis $1,285 \text{ kg/dm}^3$ pada suhu 20 derajat Celcius

2.3.1 Pengisian Energi Pada Baterai

Pengisian energi pada baterai merupakan metode pengisian energi pada baterai dengan cara dialirkan listrik DC, dimana kutub positif baterai dihubungkan dengan arus listrik positif dan kutub negatif dihubungkan dengan arus listrik negatif. Tegangan yang dialiri biasanya sama dengan tegangan total yang dimiliki baterai, artinya baterai aki 12 V dialiri tegangan 12 V DC, baterai aki 6 V dialiri tegangan 6 V DC, dan dua baterai aki 12 V yang dihubungkan secara seri dialiri tegangan 24 V DC (baterai aki yang dihubungkan seri total tegangannya adalah jumlah dari masing-masing tegangan baterai: $(\text{Voltase 1} + \text{Voltase 2} = \text{Voltase total})$).

Pada pengisian energi pada baterai, mula-mula tegangannya akan mengalami kenaikan dengan cepat dan kemudian akan mengalami kenaikan lagi hingga mencapai tegangan maksimumnya. Apabila tegangan maksimum itu telah dicapai, maka kita akan lihat baterai tersebut “mendidih“, yaitu karena gelembung-gelembung gas yang terdapat dilarutan elektrolit. Zat cair dan asam kan dipisahkan dari larutan asam sulfat dan meninggalkan larutan elektrolit. Pada pelat negatif dipisahkan dua bagian zat cair dan satu bagian zat asam pada pelat positifnya.

Campuran kedua gas ini menimbulkan gas yang mudah meletus apabila dibakar itulah sebabnya gas ini disebut sebagai gas letus. Oleh karena itu, pada saat proses pengisian baterai kita dilarang membawa sesuatu yang mudah terbakar (api) didekatnya. Selama proses pengisian baterai, maka berat jenis elektrolit akan naik sampai 1,24 kg/dm³. Apabila tegangan maksimum baterai telah tercapai, dan berat jenis larutan asam tidak mengalami kenaikan lagi setelah ditunggu beberapa lama, maka kita dapat menghentikan proses pengisian tersebut.

Cara yang tepat untuk memeriksa baterai baik dalam keadaan kosong maupun berisi, ialah dengan mengukur tegangan jepit dan berat jenis asamnya. Namun dari kedua cara pemeriksaan tersebut, pengukuran berat jenis larutan asam dengan alat hydrometer adalah lebih tepat dari pada melihat besarnya tegangan jepit. Setelah kita menghentikan proses pengisian baterai, maka tegangan jepitnya akan turun sebesar 2 %. Berapa kuat arus (ampere) yang harus dialiri bergantung juga dari kapasitas yang dimiliki baterai tersebut

2.3.2 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai adalah jumlah ampere jam ($Ah = \text{kuat arus/Ampere} \times \text{waktu/hour}$), artinya baterai dapat memberikan/menyuplai sejumlah isinya secara rata-rata sebelum tiap selnya menyentuh tegangan/voltase turun (drop voltage) yaitu sebesar 1,75 V (tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V; jika dipakai maka tegangan akan terus turun dan kapasitas efektif dikatakan sudah terpakai semuanya bila tegangan sel telah menyentuh 1,75 V). Misal, baterai 12 V 75 Ah. Baterai ini bisa memberikan kuat arus sebesar 75 Ampere dalam satu jam artinya memberikan daya rata-rata sebesar 900 Watt. Secara hitungan kasar dapat menyuplai alat berdaya 900 Watt selama satu jam atau alat berdaya 90 Watt selama 10 jam. Jadi ampere hour (Ah) adalah satuan banyaknya listrik.

Berikut merupakan data dari kapasitas baterai pada saat kosong sampai pada kondisi baterai terisi penuh dengan menggunakan baterai 12 volt.

Tabel 2.1 Kapasitas baterai

Kapasitas Aki (%)	Tegangan (Volt)
0 %	11
10 %	11,2
20 %	11,4
30 %	11,6
40 %	11,8
50 %	12
60 %	12,2
70 %	12,4
80 %	12,6
90 %	12,8
100 %	13

Selain dengan mengukur berat jenis atau densiti dari air baterai, baterai dapat diuji dengan menggunakan voltmeter. Seperti kita ketahui baterai yang baik adalah baterai yang menunjukkan tegangan diatas 12 Volt. Pada saat pengisian maka tegangan baterai dapat mencapai tegangan maksimum dari baterai. Apabila pengisian dihentikan maka voltase 13,8 V itu akan turun dengan cepat ke tegangan 13 V.

2.3.3 Faktor Yang Mempengaruhi Kapasitas Baterai

a. Jumlah bahan aktif

Makin besar ukuran pelat yang bersentuhan dengan cairan elektrolit maka makin besar kapasitasnya makin banyak pelat yang bersentuhan dengan cairan elektrolit maka makin besar kapasitasnya. Jadi untuk mendapatkan kapasitas yang besar luas pelat dan banyaknya pelat haruslah ditingkatkan.

b. Temperatur

Makin rendah temperatur (makin dingin) maka makin kecil kapasitas baterai saat digunakan karena reaksi kimia pada suhu yang rendah makin lambat tidak peduli apakah arus yang digunakan tinggi ataupun rendah. Kapasitas baterai biasanya diukur pada suhu tertentu, biasanya 25 derajat Celcius.

c. Waktu Discharging

Jika arus mengakibatkan waktu pengeluaran juga makin lama pemakaiannya. Sebaliknya jika arus pengeluarannya besar maka energi yang tersimpan pada baterai akan cepat habis

2.3.4 Jenis Jenis Baterai

Baterai yang banyak dipakai pada kendaraan adalah tipe secondary cell (storage battery atau galvanic battery) yang memungkinkan untuk dapat mengeluarkan dan mengisi kembali muatan listriknya.

1. Lead-Acid Battery

Jenis baterai ini terdiri dari lead peroxide (PbO_2) sebagai pelat electrode (anode) positif (+), discharge lead (Pb) sebagai pelat elektroda (cathode) negatif (-) dan larutan asam belerang (H_2SO_4) sebagai elektolit. Kelebihan dan kelemahannya adalah sebagai berikut.

Kelebihan lead-acid battery

- Tingkat bahayanya lebih sedikit dibandingkan dengan jenis lainnya, karena reaksi kimianya terjadi dalam temperatur ruangan.
- Dapat diandalkan dan harganya juga relatif murah.

Kelemahan lead-acid battery

- Energinya sekitar 40Wh/kgf, lebih rendah dari yang lainnya.

- Umurnya kurang tahan lama dan memerlukan waktu pengisian kembali yang lebih lama.

2. Alkali Battery (Ni-Cd Battery)

Ada dua battery alkalin yaitu Ni-Fe battery dan Ni-Cd battery. Di-nickel-hydroxide [2NiO(OH)] dan iron (Fe) digunakan pada Ni-Fe battery dan di-nickel-hydroxide [2NiO(OH)] dan cadmium (Cd) digunakan pada Ni-Cd battery sebagai pelat anode (+) dan pelat cathode (-).

Untuk elektrolit digunakan potassium hydroxide (KOH). Elektrolit digunakan hanya untuk menggerakkan electrons bukan untuk reaksi kimia untuk proses charging dan discharging, sehingga gravitasnya harus tidak berubah. Penutupnya terbuat dari lembar baja yang dilapisi oleh nikel atau plastik.

Besarnya tegangan sekitar 1.2V per cell, dan tegangan dalam keadaan diisi adalah sekitar 1.35V per cell. Tegangannya akan turun ke 1.1 V pada saat dipakai, namun akan meningkat kembali sampai ke 1.4~1.7 V pada saat diisi kembali.

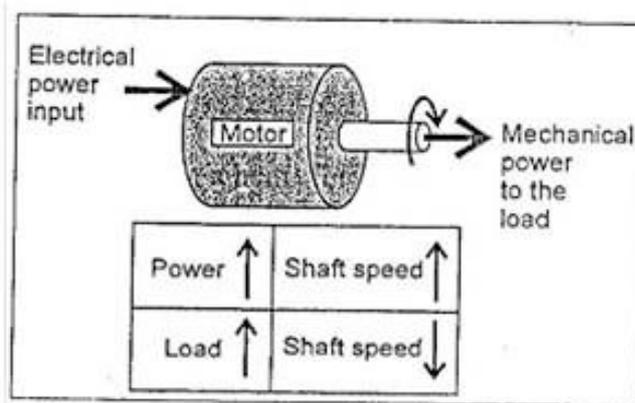
2.4 Pengendalian Motor DC

2.4.1 Pengendalian Motor DC

Motor DC dan AC memerlukan pengendali karena berfungsi sebagai pengatur kecepatan putar pada motor. Pada motor DC, kecepatan putarnya bergantung pada daya yang dicatu ke motor dan beban motor. Sedangkan pada motor AC kecepatan putarnya bergantung pada daya dan frekuensi yang di catu ke motor dan beban motor.

Mesin menggunakan rangkaian pengendali dengan empat tujuan:

- Menjaga kecepatan motor agar tetap konstan
- Untuk mengubah-ubah kecepatan motor
- Untuk memanfaatkan motor sebagai alat pengereman
- Untuk menstart motor dengan kecepatan rendah, kemudian menaikkan kecepatannya sampai pada kecepatan putaran kerja.



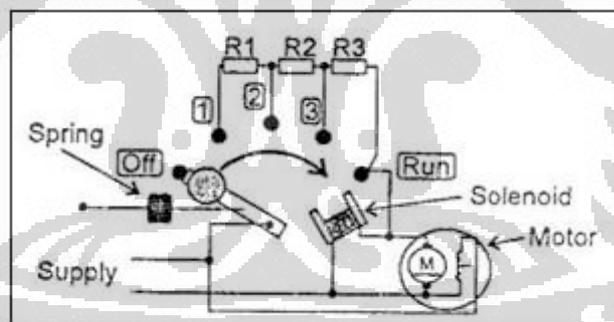
Sumber : Controller E moto

Gambar 2.8 Hubungan antara daya, kecepatan dan beban.

2.4.2 Metode Pengendali Kecepatan Motor DC

A. Pengendalian dengan menggunakan switch

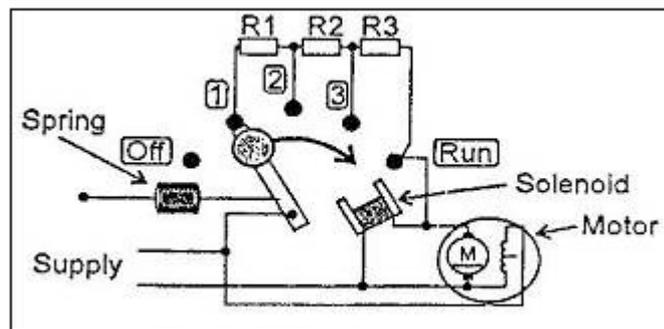
Pengendalian menggunakan switch merupakan metode pengendalian motor yang paling sederhana. Aliran daya yang mengalir ke motor bergantung pada posisi switch menggunakan sekumpulan resistor.



Sumber : Controller E moto

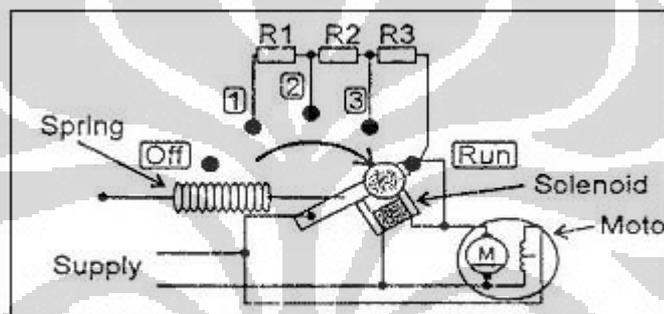
Gambar 2.9 Pengendalian Motor Menggunakan Switch

Untuk menstart motor, operator harus memindahkan switch ke posisi 1 (gambar 2.9). Tahanan yang dihubungkan seri terdiri dari $R1 + R2 + R3$. Dalam posisi tersebut tahanan seri menjadi maksimum. Tahanan seri tersebut membatasi arus motor sampai ada nilai terendah. Sehingga motor akan berputar dengan kecepatan rendah.



Sumber : Controller E moto

Gambar 2.10 Pengendalian kecepatan motor dengan switch ketika kecepatan rendah



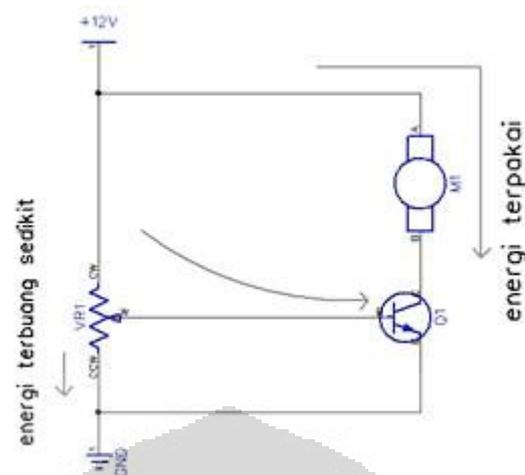
Sumber : Controller E moto

Gambar 2.11 Pengendalian kecepatan motor dengan switch ketika kecepatan penuh

Ketika switch berada pada posisi 4 maka tahanan serinya bernilai nol. Ketika switch berada pada posisi 4 maka tahanan serinya bernilai nol maka motor menerima arus maksimum sehingga motor dengan kecepatan penuh.

B. Kontrol daya tegangan

Kontrol daya tegangan adalah metode pengontrol daya dengan mengatur tegangan pada basis transistor. Cara ini lebih efisien daripada pengontrolan daya dengan rheostat karena energi yang terbuang lebih sedikit.

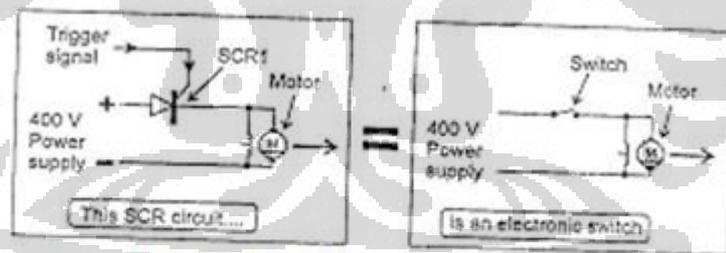


Sumber : www.gruprobot.com/wp-content/uploads/2012/01/kontrol-1.bmp

Gambar 2.12 Skema kontrol daya dengan tegangan

C. Kontrol daya thyristor.

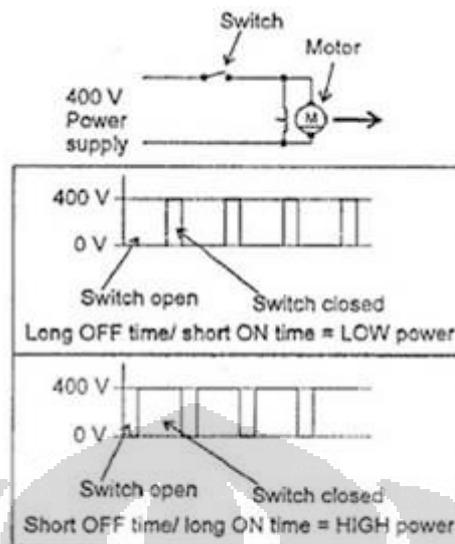
Thyristor merupakan switch elektronik. Ketika motor distart maka switch thyristor akan membuka dan menutup. Thyristor akan menutup selama 10 % dan membuka selama 90% seluruh waktunya. Motor akan menerima sedikit daya sehingga motor akan berputar pelan-pelan.



Sumber : Controller E moto

Gambar 2.13 Kontrol Thyristor pada DC motor

Karena waktu ON thyristor bertambah, motor akan menerima daya lebih banyak sehingga kecepatan motor akan bertambah. Jika operator menggerakkan pengontrol untuk membuat switch thyristor tertutup 100 selama waktunya, motor akan menerima tegangan DC penuh dari catu daya sehingga motor akan berputar dengan kecepatan penuh.



Sumber : Controller E moto

Gambar 2.14 Output kecepatan rendah dan kecepatan tinggi dari kontrol daya thyristor

D. Kontrol daya Mosfet atau IGFET

Metal-oxida semikonduktor FET (semikonduktor FET oksida logam) disingkat Mosfet mempunyai source, gate dan drain yang disebut IGFET “Insulate-Gate FET” (FET dengan gerbang yang terisolasi) lihat gbr. 2.15. Dalam rangkaian digital atau logika dalam komputer banyak menggunakan rangkaian switch yang salah satunya memakai Mosfet (Mosfet jenis pengisian lebih disukai) Kontrol daya Mosfet atau IGFET 8.3. Sebagai contoh controller untuk Brushless DC motor adalah lebih rumit dibandingkan dengan brush elektrik motor seperti diperlihatkan dalam gbr 2.16

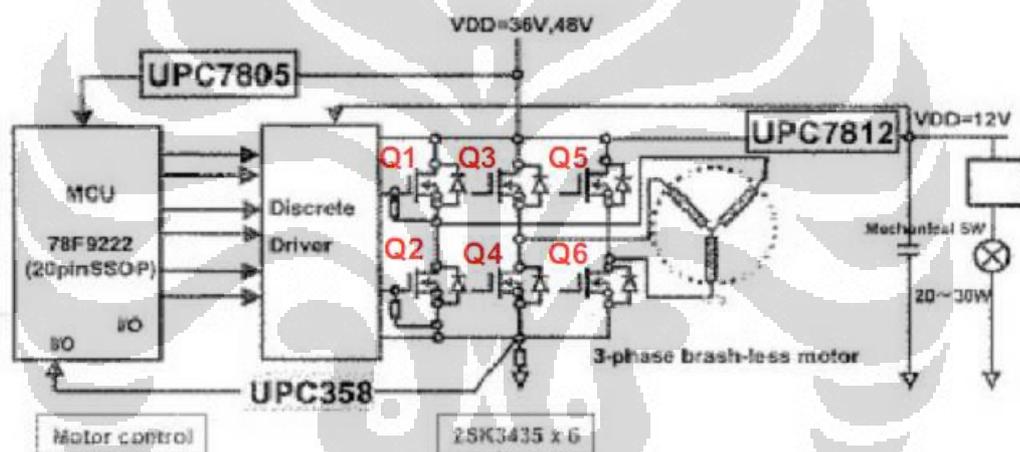
Di dalam gambar 2.16 Q1 dan Q2 membentuk bridge arm kumparan fasa A bruslees elektrik motor, Q3 dan Q4 membentuk bridge arm kumparan fasa B brushless elektrik motor, Q5 dan Q6 membentuk bridge arm kumparan fasa C brushless elektrik motor.

Metode kerja setiap bridge arm adalah:

Metode 1: Q1, Q4 menghantar, arus mengalir dari kutub positif baterai melalui Q1, kumparan fasa A, kumparan fasa B, Q4 dan resistor detek/ukur arus, selanjutnya kembali ke kutub negatif baterai.

Metode 2: Q1 menyumbat, Q4 tetap menghantar, karena arus kumparan adalah beban sifat induksi, arus itu tidak bisa berubah mendadak, arus induksi akan mempertahankan arah semula agar tidak berubah, oleh karenanya, yang di bridge arm fasa A dioda didalam MOSFET Q2 menghantar mengalirkan arus

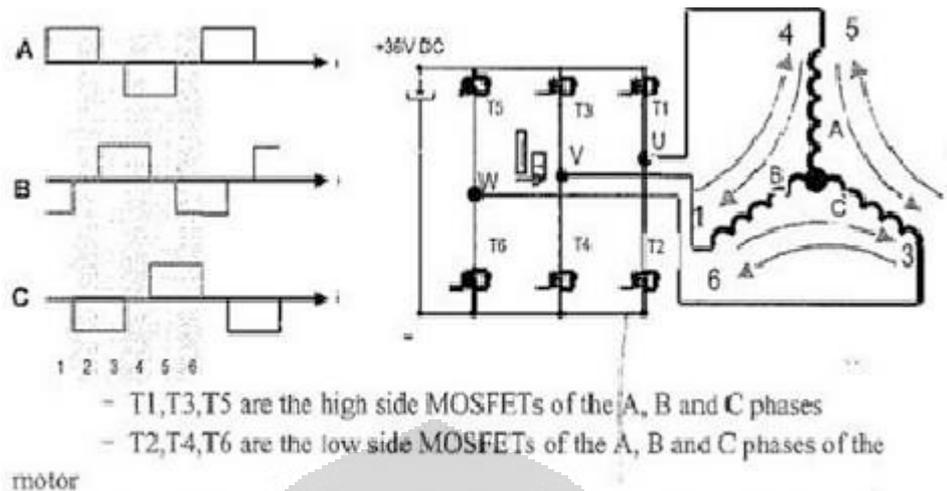
Metode 3: Controller mengganti fasa Q5 menghantar, kumparan fasa A menerima tegangan negatif degaussing, arus kumparan fasa A yaitu Q2 menurun sampai 0, menyelesaikan pergantian fasa di fasa A.



Sumber : Controller E moto

Gambar 2.15 Rangkaian Kontrol Daya Mosfet

Selama waktu putaran elektrik (6 langkah), ada 2 langkah dimana tidak ada arus dalam putaran. Dalam setiap langkah selalu ada dua dari tiga putaran yang dibiarkan satu ke arah berlawanan



Sumber : Controller E moto

Gambar 2.16 Putaran dinamo motor secara ideal

2.5 Motor DC

Motor DC adalah mesin yang mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, bor listrik, fan angin) dan di industri. Salah satu jenis motor dc adalah brushless direct current (BLDC) motor. Sesuai namanya, BLDC motor tidak menggunakan pergantian brush, tetapi BLDC secara elektronik berkomutasi.

BLDC motor atau dapat disebut juga dengan BLAC motor merupakan motor listrik synchronous AC 3 fasa. Perbedaan pemberian nama ini terjadi karena BLDCM memiliki BEMF berbentuk trapezoid, sedangkan BLACM memiliki BEMF berbentuk sinusoidal. Walaupun demikian keduanya memiliki struktur yang sama dan dapat dikendalikan dengan metode six-step maupun PWM sinusoidal. Dibandingkan dengan motor DC, BLDCM memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dan kecepatan yang lebih tinggi akibat tidak digunakannya brush. Dibandingkan dengan motor induksi, BLDCM memiliki efisiensi yang lebih tinggi karena rotor dan torsi awal yang lebih tinggi karena rotor terbuat dari magnet permanen. Walaupun memiliki kelebihan dibandingkan dengan motor DC dan motor induksi, pengendalian BLDCM jauh lebih rumit untuk kecepatan dan

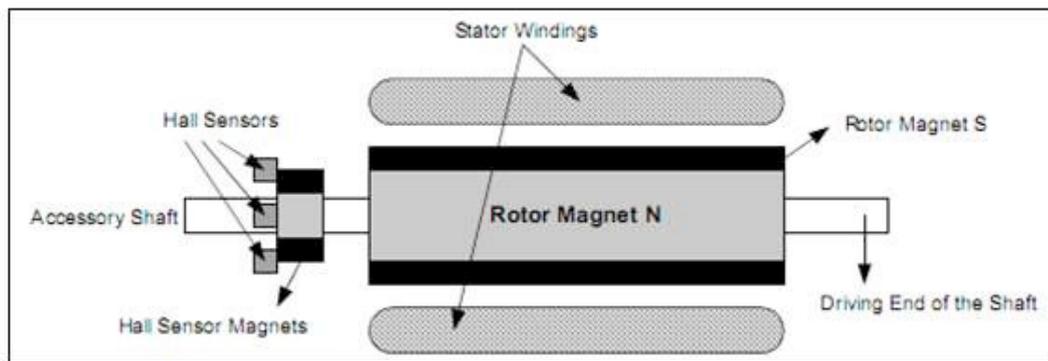
torsi yang konstan karena tidak adanya brush yang menunjang proses komutasi dan harga BLDCM jauh lebih mahal.

2.5.1 Kontruksi Motor DC Brushless

Secara umum BLDCM terdiri dari dua bagian, yakni rotor, bagian yang bergerak, yang terbuat dari permanen magnet dan stator, bagian yang tidak bergerak, yang terbuat dari kumparan 3 fasa. Walaupun merupakan motor listrik sinkron AC 3 fasa, motor ini tetap disebut dengan BLDCM karena pada implementasinya BLDCM menggunakan sumber DC sebagai sumber energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan AC dengan menggunakan inverter 3 fasa. Tujuan dari pemberian tegangan AC 3 fasa pada stator BLDCM adalah menciptakan medan magnet putar stator untuk menarik magnet rotor.

Oleh karena tidak adanya brush pada motor BLDC, untuk menentukan timing komutasi yang tepat pada motor ini sehingga didapatkan torsi dan kecepatan yang konstan, diperlukan 3 buah sensor hall dan encoder. Pada sensor Hall, timing komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet rotor dengan menggunakan 3 buah sensor hall untuk mendapatkan 6 kombinasi timing yang berbeda, sedangkan pada encoder, timing komutasi ditentukan dengan cara menghitung jumlah pola yang ada pada encoder.

Pada umumnya encoder lebih banyak digunakan pada motor BLDCM komersial karena encoder cenderung mampu menentukan timing komutasi lebih presisi dibandingkan dengan menggunakan sensor hall. Hal ini terjadi karena pada encoder, kode komutasi telah ditetapkan secara tetap berdasarkan banyak pole dari motor dan kode inilah yang digunakan untuk menentukan timing komutasi. Namun karena kode komutasi encoder untuk suatu motor tidak dapat digunakan untuk motor dengan jumlah pole yang berbeda. Hal ini berbeda dengan sensor Hall, apabila terjadi perubahan pole rotor pada motor, posisi sensor hall dapat diubah dengan mudah. Hanya saja kelemahan dari sensor hall adalah apabila posisi sensor hall tidak tepat maka akan terjadi kesalahan dalam penentuan timing komutasi atau bahkan tidak didapatkan 6 kombinasi timing komutasi yang berbeda.



Sumber : AN885

2.17 Konstruksi motor dc brushless

2.5.2 Cara Kerja

Motor BLDC ini dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan arus 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul medan magnet. Nilai medan magnet yang timbul dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$B = \frac{\mu_0 i}{2r} \quad (2.1)$$

Di mana

B = medan magnet dalam tesla (T)

i = arus dalam ampere [A]

r = jari-jari dalam meter [m]

μ_0 = permeabilitas bahan [H/m]

Karena arus yang diberikan berupa arus AC 3 fasa sinusoidal, nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terciptanya medan putar magnet dengan kecepatan yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$n = \frac{120 \tau}{p} \quad (2.2)$$

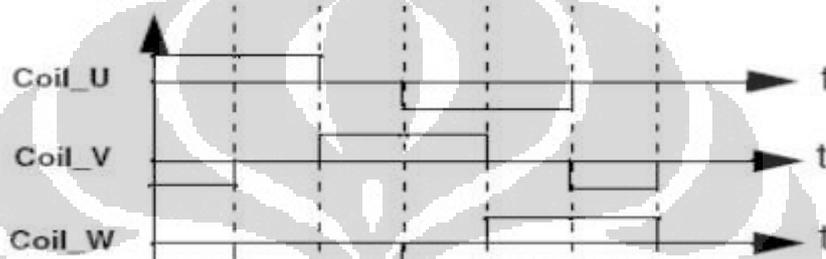
Dimana

n = kecepatan putar dalam putaran per menit [rpm]

f = frekuensi arus input dalam Hertz [Hz]

p = jumlah pole rotor

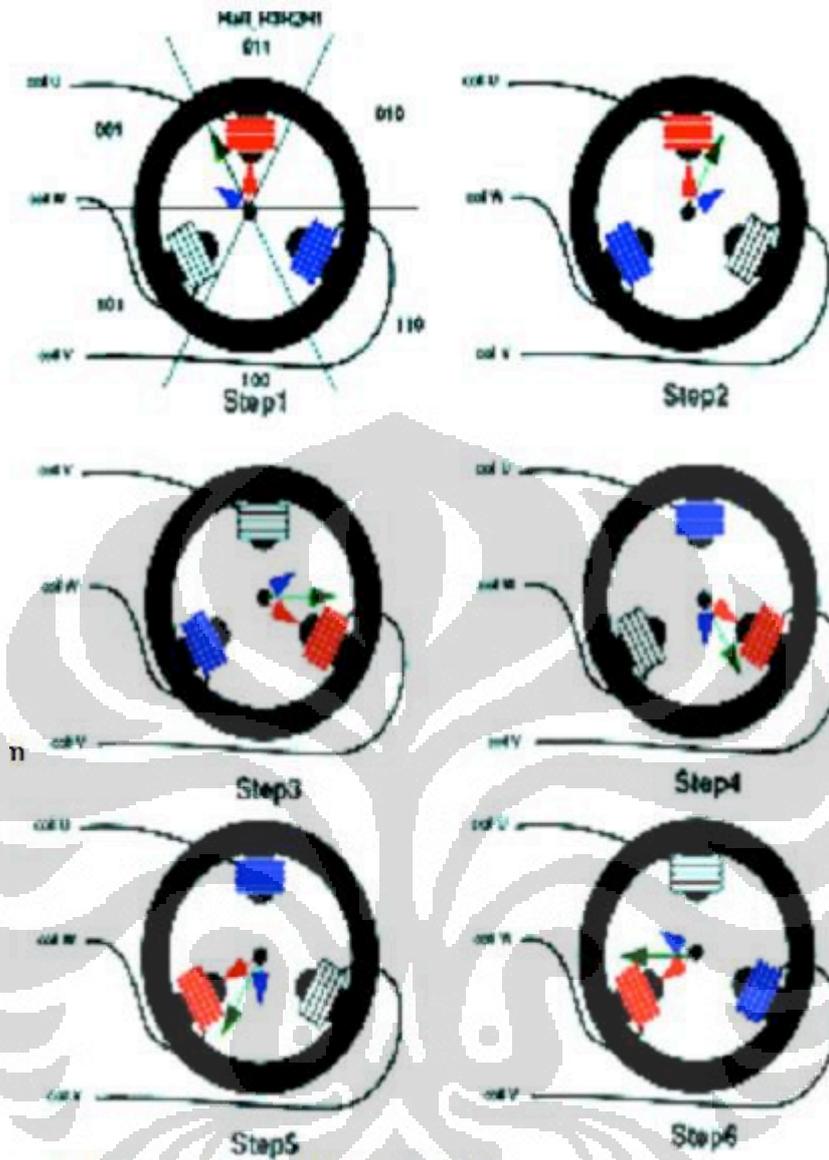
Berdasarkan gambar 2.18, medan putar magnet stator timbul akibat adanya perubahan polaritas pada stator U, V, dan W. Perubahan polaritas ini terjadi akibat adanya arus yang mengalir pada stator berupa arus AC yang memiliki polaritas yang berubah-ubah.



Gambar 2.18 Kumparan pada Stator

Komutasi dilakukan oleh beberapa sumbu as sensor : optical encoder, magnetic encoder atau hall effect magnetic sensor. Dengan cara ini motor DC brushless menjadi kecil dan murah. Hall effect magnetic sensor akan berfungsi mengalirkan elektron akibat adanya medan magnetic yang tegak lurus terhadap arah arus. Penerapan medan magnet pada sensor ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan tegangan sedikit pada output. Output hall akan menggerakkan comparator hingga peralatan dayanya lebih stabil. Peralatan ini juga akan menggerakkan transistor kompon ketika diberi bias yang tepat. Hall effect sensor yang lebih modern berisi penguat yang terintegrasi dan rangkaian digital. Sensor hall ini harus diletakkan sedekat mungkin dengan rotor magnet permanen untuk mendeteksi posisi rotor

Untuk tiga fase kumparan motor DC brushless, tahapan memutar bidang rotor dapat dijelaskan dalam Gambar 2.19



Sumber : Motor DC Brushless, Djodi Antono

Gambar 2.19 Metode Six Step

BAB 3

PERANCANGAN KENDARAAN LISTRIK

Pada bab ini akan disajikan mekanisme perancangan kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya. Perancangan kendaraan listrik tenaga surya ini bukanlah tergolong sebagai kendaraan listrik yang sudah kompleks, melainkan hanya berupa perancangan kendaraan listrik sederhana. Berikut langkah-langkah perancangan pembuatan kendaraan listrik :

1. Pemodelan kendaraan listrik.
2. Pembuatan desain kendaraan listrik.
3. Perancangan perangkat mekanik.
4. Perancangan perangkat elektrik

3.1 Pemodelan Kendaraan listrik

3.1.1 Pemodelan Gaya

Perancangan kendaraan listrik ini didesain berdasarkan total massa dari kendaraan. Massa kendaraan listrik mempunyai pengaruh besar khususnya pada percepatan. Sesuai hukum Newton II maka Gaya sebanding dengan massa dikali dengan percepatan.

$$F_{ac} = m \cdot a \quad (3.1)$$

Dimana

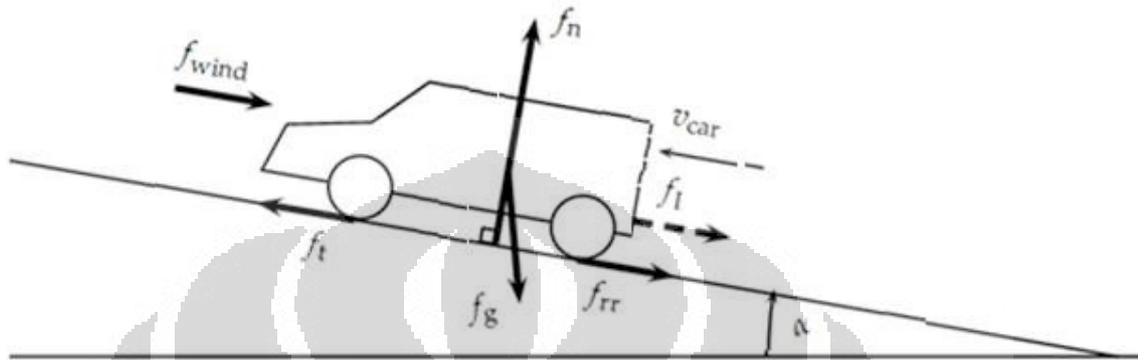
F_{ac} = gaya yang dibutuhkan dalam Newton [N]

m = total massa dalam kilogram [kg]

a = akselerasi [m/s^2]

Untuk mengurangi gaya total maka total massa dari kendaraan listrik harus dikurangi. Pengurangan massa ini dapat dicapai dengan menggunakan bahan yang ringan. Massa total kendaraan listrik ini juga mempengaruhi jarak yang ditempuh karena semakin berat maka daya yang dibutuhkan semakin besar untuk menggerakkan pada kecepatan dan jarak yang sama

Selain gaya untuk menggerakkan kendaraan listrik, Ada 3 gaya lain yang bekerja pada kendaraan listrik ini mencakup gaya gravitasi, gaya gesekan udara, gaya gesekan ban dan gaya pengaruh inersia. Gaya yang bekerja bisa dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 gaya gaya yang bekerja

Besar gaya gesek pada ban (F_{rr}) dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$F_{rr} = \mu_t \cdot m \cdot g \cos a \quad (3.2)$$

Dimana

F_{rr} = Gaya gesek pada ban dalam Newton [N]

μ_t = koefisien gesek pada ban

$$\mu_t = 0.01 \left(1 + \frac{3.6}{100} v \right) \quad (3.3)$$

m = total massa dalam kilogram [kg]

g = gravitasi [m/s^2]

a = sudut dalam radian [rad]

Untuk menentukan besar gaya gravitasi (F_g) maka dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$F_g = m \cdot g \sin a \quad (3.4)$$

F_g = gaya gravitasi dalam newton [N]

m = total massa dalam kilogram [kg]

g = gravitasi [m/s^2]

a = sudut dalam rad

Sedangkan gaya hambat udara dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$F_{wind} = 0,5 \cdot \mu_r \cdot \delta \cdot A_f \cdot v^2 \quad (3.5)$$

F_{wind} = Gaya hambat udara dalam newton [N]

μ_r = koefisien gesek udara

δ = kepadatan udara [kg/m^3]

A_f = luas daerah yang tegak lurus dengan gerak kendaraan listrik dalam [m^2]

v = kecepatan kendaraan listrik dalam [m/s]

Maka gaya total untuk menarik kendaraan listrik sebanding dengan total gaya yang bekerja

$$F_{tot} = F_{rr} + F_g + F_{wind} + F_{ac} \quad (3.6)$$

Dimana

F_{tot} = total gaya yang bekerja pada kendaraan listrik dalam newton [N]

3.1.2 Pemodelan Transmisi Mekanik

Sistem transmisi yang meliputi torsi, kecepatan angular, daya pada sistem transmisi dapat dilihat melalui persamaan berikut :

$$T_{in} = F_{tot} r_1 \quad (3.7)$$

$$P_{mot} = T_{in} \omega_3 \quad (3.8)$$

Dimana

τ_{in} = Torsi traksi [Nm]

P_{mot} = Daya motor dalam Watt [W]

r_1 = jari jari roda dalam meter [m]

ω_3 = kecepatan angular motor dc brushless [rad/s]

Daya yang dibutuhkan oleh motor digunakan untuk menggerakkan motor dc brushless. Gear motor dc brushless terhubung dengan gear pada poros roda. Gerak melingkar pada gear motor dan poros roda diatur untuk mendapatkan konversi output kecepatan dan torsi sesuai dengan yang diinginkan. Oleh karena itu maka pada sistem penggerak menggunakan rasio gear. Dengan mengabaikan gesekan yang terjadi pada gear, maka daya keluaran motor dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$P_{mot} = P_{out} \quad (3.9)$$

$$P_{out} = \tau_{out} \omega_2 \quad (3.10)$$

$$\tau_{out} = P_{mot} / \omega_2 \quad (3.11)$$

Dimana

P_{out} = Daya motor dalam watt [W]

τ_{out} = Torsi keluaran [N.m]

ω_2 = kecepatan angular motor dc brushless dalam rad/s

Untuk menentukan kecepatan liniernya maka dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\omega_3 r_3 = \omega_2 r_2 \quad (3.12)$$

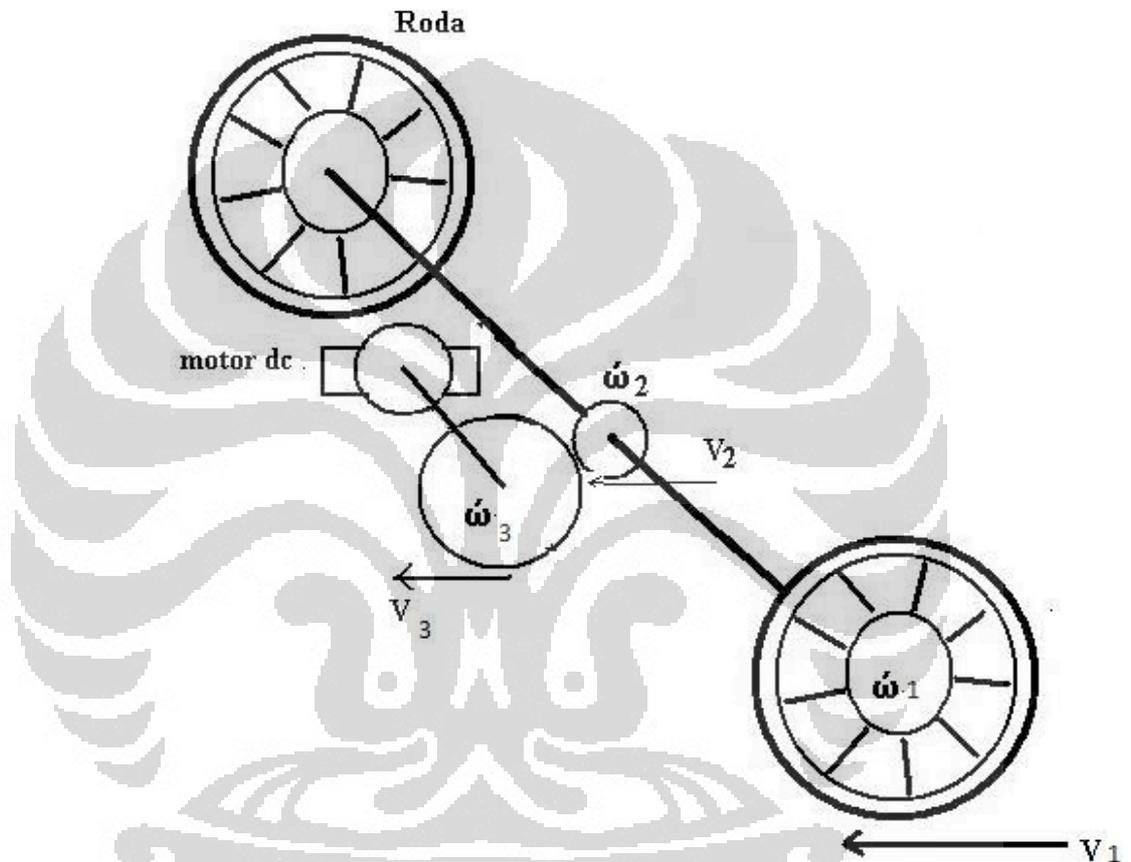
Dimana

ω_3 = kecepatan putar pada rotor pada motor [rad/s]

ω_2 = kecepatan putar pada poros roda [rad/s]

r_3 = dalam meter [m]

r_2 = dalam meter [m]



Gambar 3.2 skematik sistem transmisi

Maka kecepatan linier dari kendaraan listrik dapat dihitung dengan rumus

$$v_2 = v_1 \quad (3.13)$$

$$v_1 = \omega_1 r_1 \quad (3.14)$$

Dimana

v_1 = kecepatan linier kendaraan listrik [m/s]

ω_1 = kecepatan putar pada roda [rad/s]

3.1.3 Pemodelan Kelistrikan

Kendaraan listrik digerakkan oleh motor dc brushless dengan sumber energi dari 4 baterai dan solar sel dengan regulator sebagai pengaturan tegangannya. Panel sel surya yang berfungsi sebagai konversi energi matahari menjadi energi listrik. Panel sel surya mempunyai kapasitas daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh panel sel surya. Daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh panel sel surya sebanding perkalian antara tegangan dan arus ketika daya maksimal .

$$P_{\max} = V_{\text{mp}} I_{\text{mp}} \quad (3.15)$$

Dimana

P_{\max} = Daya maksimal yang dapat dihasilkan sel surya dalam watt [W]

V_{mp} = Tegangan sel surya ketika daya yang dihasilkan maksimal dalam volt [V]

I_{mp} = Arus ketika daya yang dihasilkan maksimal dalam ampere [A]

Intensitas cahaya matahari yang berubah ubah menyebabkan daya yang dihasilkan berubah ubah. Sehingga untuk mendapatkan tegangan keluaran yang stabil perlu suatu regulator yang dapat membatasi tegangan yang masuk ke baterai sehingga tidak terjadi overvoltage yang dapat merusak baterai.

Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi yang dihasilkan oleh sel surya. Energi yang tersimpan di sel surya bergantung pada tegangan dan arus yang dihasilkan oleh surya. Baterai mempunyai kapasitas pengisian energi dalam jam. Kapasitas menunjukkan seberapa lama energi pada baterai dapat habis dengan tegangan dan arus yang digunakan. Kapasitas energi pada baterai dapat dihitung dengan persamaan berikut

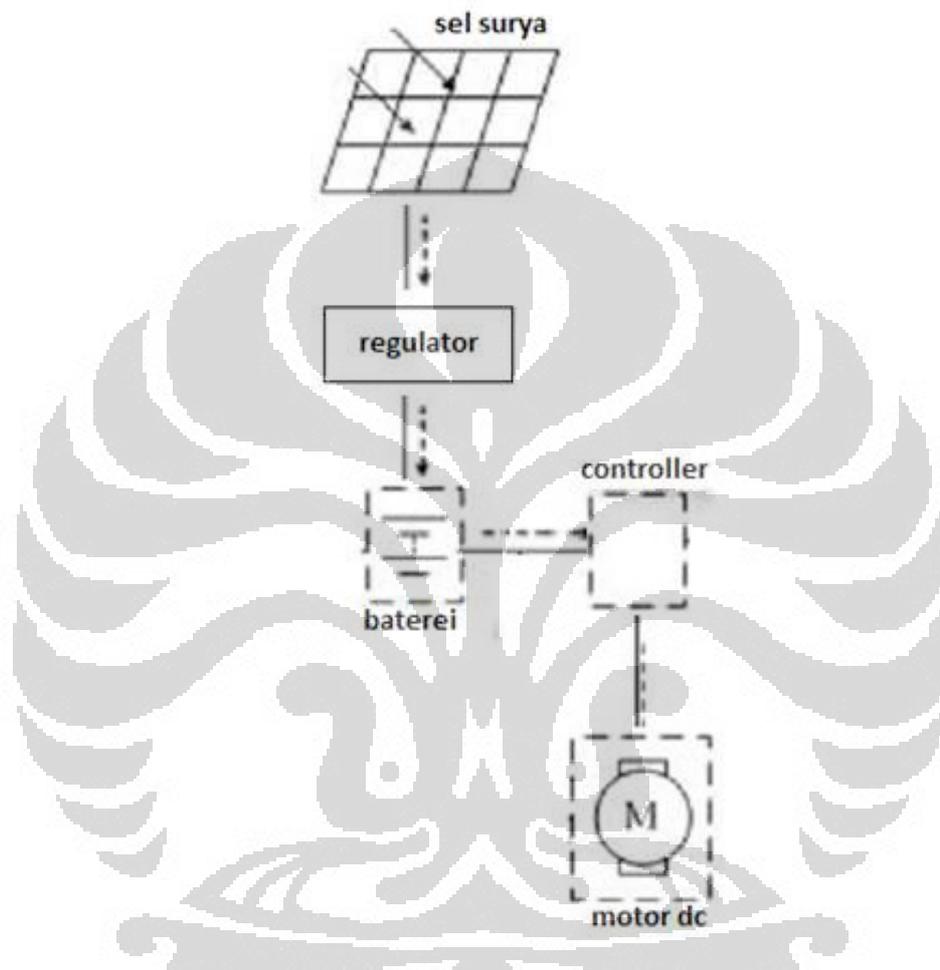
$$W = V I t \quad (3.16)$$

Dimana

$W = \text{Energi [Watt.h]}$

$V = \text{Tegangan pada baterai dalam Volt [V]}$

$I t = \text{Kapasitas Arus dalam ampere.hour [Ah]}$



Gambar 3.3 skematik komponen utama kelistrikan

Motor dc brushless berfungsi sebagai penggerak kendaraan listrik . Energi listrik untuk menggerakkan motor dc berasal dari baterai. Motor dc brushless berfungsi mengkonversikan energi listrik menjadi ke dalam bentuk energi mekanik. Energi listrik yang didapat dari baterai tidak semua dapat diubah kedalam bentuk energi mekanik karena motor dc juga mempunyai faktor efisiensi. Maka untuk menghitung daya yang dapat dikonversikan kedalam mekanik maka dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$P_{\text{out}} = f_j P_{\text{in}} \quad (3.17)$$

Dimana

P_{out} = Daya mekanik yang dihasilkan motor dalam watt [W]

f_j = efisiensi motor

P_{in} = Daya listrik yang masuk ke motor dalam watt [W]

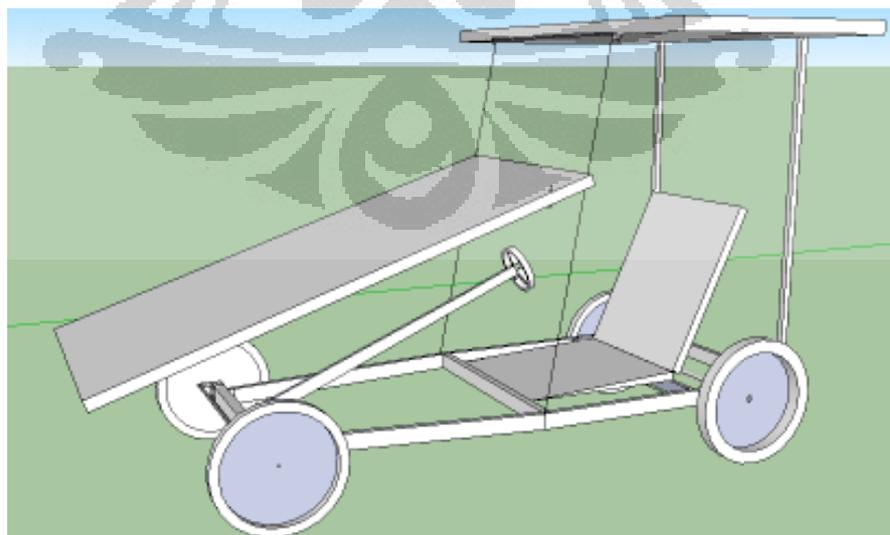
Semua rugi-rugi daya pada kendaraan listrik yang diakibatkan oleh elektronik ataupun mekanik disimbolkan sebagai faktor efisiensi yang mengurangi daya inputan. Energi yang telah dikonversikan menjadi energi mekanik diubah dalam bentuk gaya untuk menggerakkan kendaraan listrik. Gaya ini sebanding dengan daya outputan dibagi dengan kecepatan kendaraan listrik.

$$F = \frac{P_{\text{out}}}{v} = \frac{\eta P_{\text{in}}}{v} \quad (3.18)$$

3.2 Desain Kendaraan listrik

3.2.1 Gambar Kendaraan listrik

Kendaraan listrik ini didesain berdasarkan bentuk dan luas panel sel surya. Pada gambar (3.4) terlihat bahwa terdapat dua panel sel surya masing masing mempunyai kapasitas daya 80 Wp dan 100 Wp.

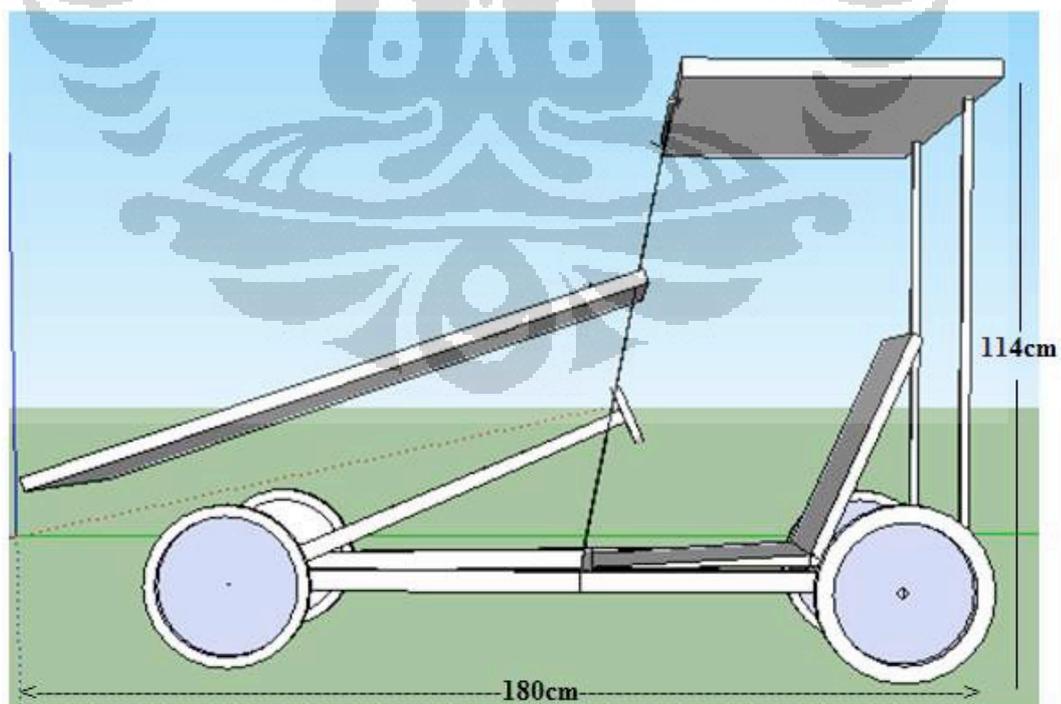


Gambar 3.4 desain kendaraan listrik

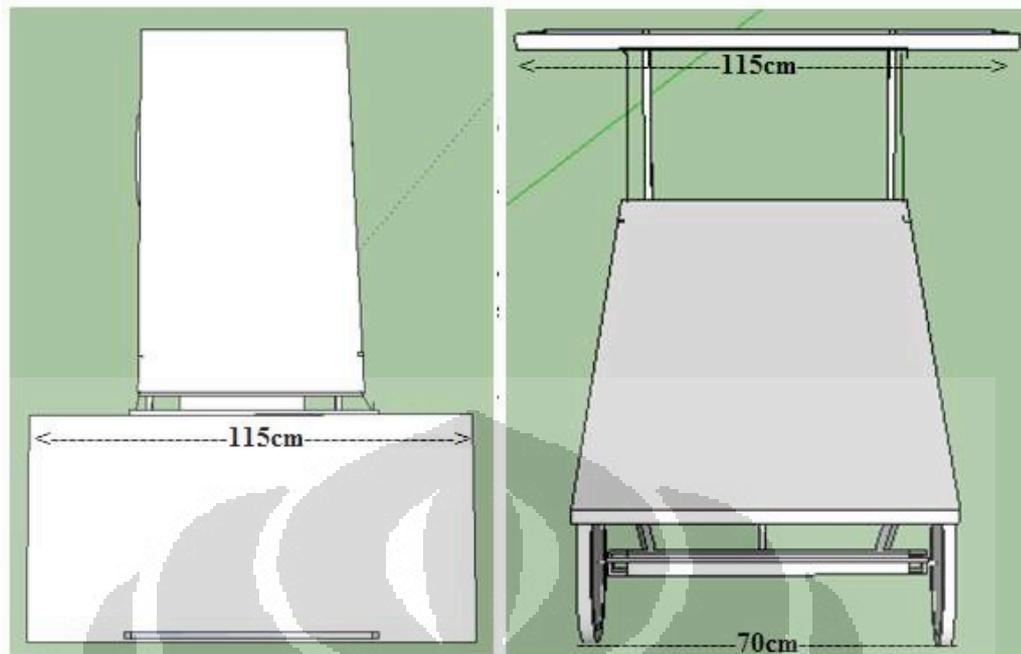


Gambar 3.5 kendaraan listrik

Panel yang mempunyai kapasitas 100 Wp diletakkan miring didepan dan panel 80 Wp diletakkan diatas melintang pada rangka kendaraan listrik. Kendaraan listrik ini memiliki 2 roda yang terletak dibagian depan dan 2 roda belakang yang terletak dibagian belakang. Masing masing roda mempunyai jari jari 16,5 cm.



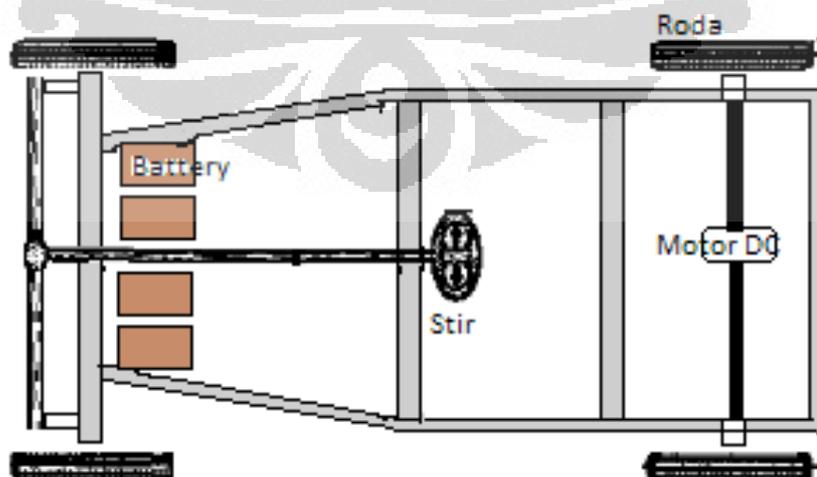
Gambar 3.6 tampak samping



Gambar 3.7 tampak atas dan tampak depan

3.2.2 Konfigurasi dan Spesifikasi Kendaraan Listrik

Kendaraan listrik menggunakan sumber energi listrik dari 4 buah baterai 12 volt yang dihubungkan secara seri sehingga menghasilkan tegangan 48 volt. Kendaraan listrik ini menggunakan motor dc brushless sebagai tenaga menggerakkan dan controller sebagai pengendali kecepatan motor. Komponen baterai sengaja diletakkan didepan karena faktor keseimbangan berat dari kendaraan listrik.



Gambar 3.8 konfigurasi sistem

Mesin / Engine

Tipe mesin	Motor dc brushless
Daya maksimum	350 Watt / 345 rpm
Torsi maksimum	15,2 N.m
Bahan bakar	Baterei 4 x 12 V/ 12 AH
Waktu isi ulang minimum dari sel surya	3,06 jam (183,6 menit)
Waktu buang minimum	1,64 jam (98,4 menit)

Dimensi / Dimension

Panjang / Overall length	1800 mm
Lebar / Overall width	1150 mm
Tinggi / Overall Height	1140 mm
Jarak sumbu / Wheelbase	1020 mm
Jarak terendah / Rear Thread	160 mm
Berat kendaraan listrik	± 41,3 kg
Berat kendaraan listrik	± 79,3 kg

Rangka / Chasis

Rangka dasar	Baja ringan type C 1mm
Rangka pembentuk	Besi siku
Ban depan dan belakang	Ban sepeda diameter 33 cm
Rem depan	Cakram sepeda

Kelistrikan

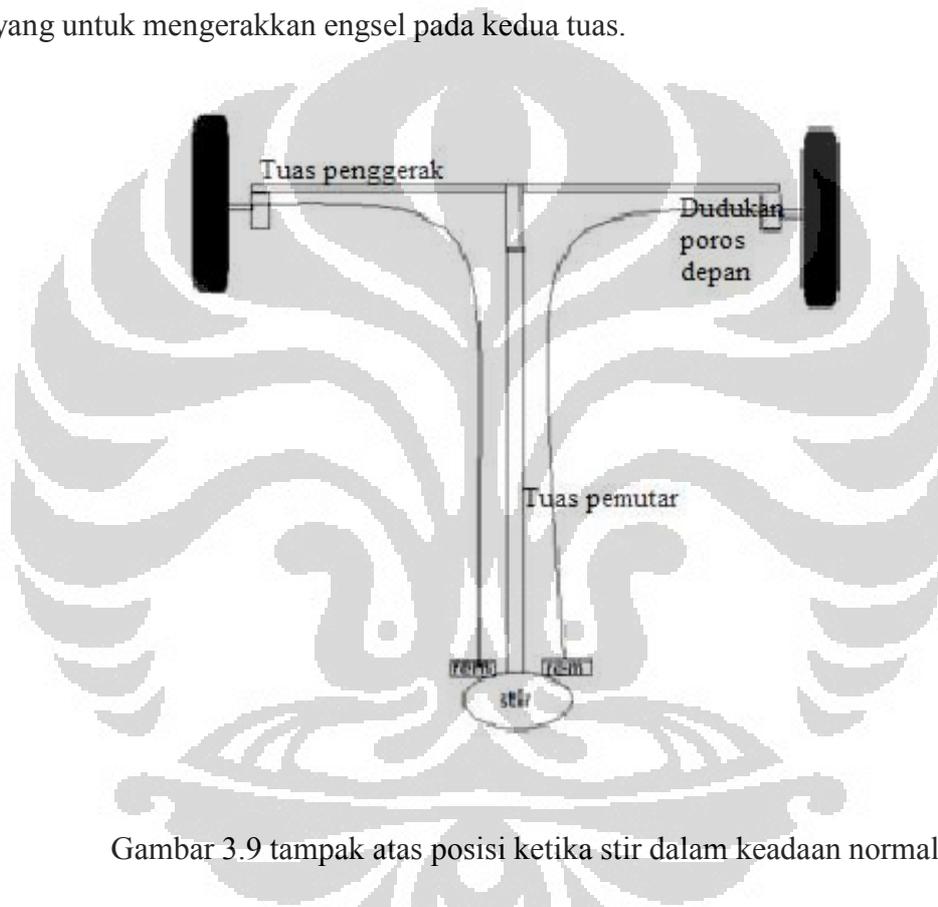
Sumber tegangan motor	Baterei 4 x 12 V/ 12 AH
Sumber tegangan baterei	Panel sel surya 80 Wp dan 130 Wp
Pengontrol kecepatan	Controller motor 350 watt

Tabel 3.1 Spesifikasi Kendaraan Listrik

3.3 Perancangan Mekanik

3.3.1 Power Steering Dan Pengereman

Power steering adalah sistem penggerak untuk mengubah arah ke kiri ataupun ke kanan. Konstruksi power steering terdiri dari 2 tuas penggerak dan 1 tuas pemutar. Tuas penggerak ini terhubung dengan dudukan poros roda depan. Dudukan poros depan terhubung pada rangka dari kendaraan listrik. Sedangkan tuas pemutar terhubung dengan stir. Kedua tuas ini dihubungkan dengan balljoint yang untuk mengerakkan engsel pada kedua tuas.

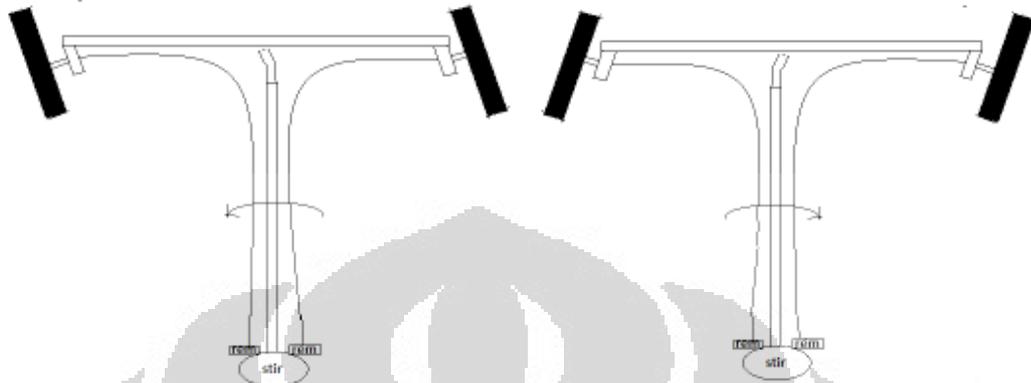


Gambar 3.9 tampak atas posisi ketika stir dalam keadaan normal



Gambar 3.10 hubungan antara kedua tuas

Arah kemudi dari kendaraan ditentukan oleh stir yang terhubung dengan pada tuas yang digunakan untuk mengendalikan arah roda ke kiri ataupun ke kanan.



Gambar 3.11 tampak atas posisi ketika stir dibelokkan ke kanan dan ke kiri

Pada stir juga terdapat rem tangan untuk memperlambat laju kendaraan. Rem tangan dihubungkan ke sebuah cakram yang terdapat diroda depan. Ketika pedal rem ditarik maka piringan cakram akan memperlambat putaran roda.



Gambar 3.12 stir, rem dan cakram pada roda

3.3.2 Roda Gigi

Roda gigi atau gears adalah roda yang terbuat dari besi yang mempunyai gerigi pada permukaannya. Gear disusun sedemikian rupa bekerja secara berpasangan dan setiap pasangan terdapat sebuah roda gigi yang menggerakkan

(driving gear) dan sebuah roda gigi yang digerakkan (driven gear). Dasar dari operasi sistem transmisi adalah roda gigi penggerak (driving gears), roda gigi yang digerakkan (driven gears) dan rasio/perbandingan roda gigi (gears ratio). Perubahan rasio pada transmisi mengakibatkan perubahan gaya torsi yang dikirimkan ke roda penggerak. Rasio roda gigi adalah jumlah putaran yang harus ditempuh roda penggerak (driving gears) sebelum driven gear berputar satu putaran penuh.



Gambar 3.13 hubungan gear motor dengan gear pada poros roda

Perbandingan roda gigi adalah perbandingan antara kecepatan yang masuk dengan kecepatan bagian yang keluar. Perbandingan dua roda gigi yang berpasangan mempunyai jumlah roda gigi 25 dan 17. Kecepatan putarnya adalah fungsi dari ukuran dan putaran roda gigi tersebut. Jika roda gigi besar menggerakkan roda gigi kecil maka kecepatan roda gigi kecil akan lebih besar. Hubungan dua roda gigi yang dihubungkan dengan rantai disebut hubungan roda yang mempunyai arah putaran searah dan kecepatan linear yang sama tetapi dengan kecepatan sudut yang berbeda. Perbandingan roda gigi ini digunakan untuk konversi peningkatan kecepatan putaran pada kendaraan listrik, akan tetapi torsi keluaran yang didapatkan lebih kecil

3.4 Perancangan Kelistrikan

3.4.1 Pengisian Baterai

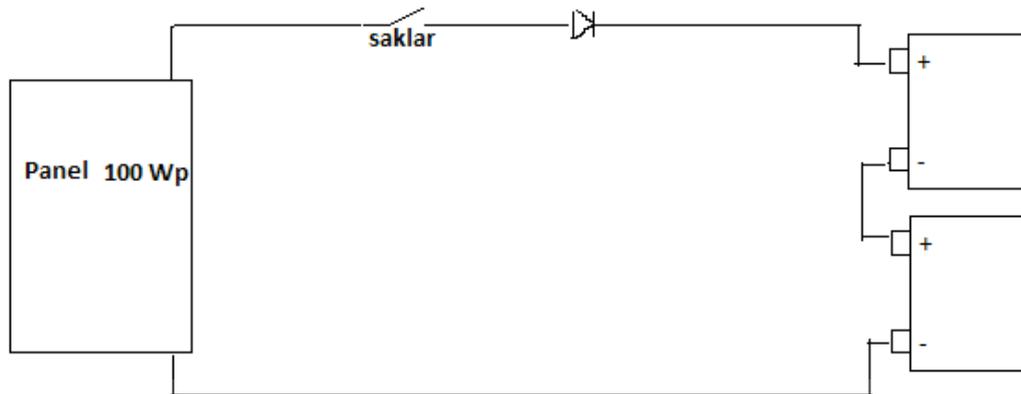
Pengisian baterai merupakan suatu perangkat tambahan yang berfungsi untuk mengisi muatan baterai yang sudah berkurang atau bahkan habis karena pemakaian baterai. Pada perancangan ini pengisi baterai bertindak sebagai perangkat tambahan yang berfungsi mengalirkan energi yang dihasilkan oleh sel surya

A. Rangkaian pengisian baterai

Metode pengisian baterai menggunakan metode pengisian multi-stage. Pengisian multi-stage, terdiri dari 3 stage/ tahap: constant-current charge, topping charge dan float charge. Selama constant-current charge, baterai diisi sampai 70 persen dalam waktu tertentu sisanya 30 persen adalah pengisian pelan-pelan dalam topping charge. Topping charge membutuhkan waktu untuk menjaga baterai tetap baik.. Tahap ketiga adalah float charge, kompensasi self-discharge setelah baterai terisi penuh.

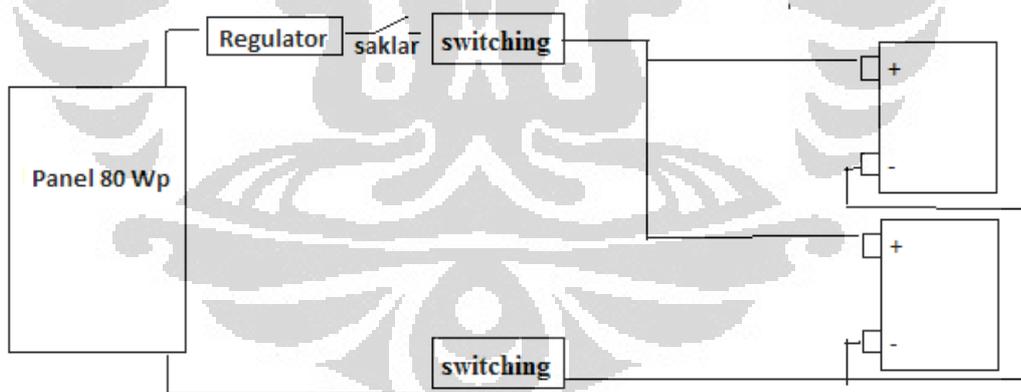
Baterai terdiri dari beberapa sel. Untuk baterai aki 12 Volt, terdiri dari 6 sel. Batas tegangan satu sel umumnya mulai dari 2.30V sampai 2.45V. Jadi baterai aki 12 Volt, tegangan sebenarnya adalah antara 11 V - 14.7 Volt. Kondisi baterai aki tergantung dari suhu, jadi perlu menjaga kondisi suhu untuk mencharge baterai. Untuk mencharge baterai maka dibutuhkan suatu regulator yang berfungsi sebagai penstabilan tegangan yang masuk ke baterai. Untuk mengatasi overcharging pada baterai yang dapat mengurangi umur baterai maka dipasang saklar yang terpasang pada rangkaian.

Pada rangkaian pengisian baterai menggunakan panel 100 Wp (Gambar 3.15), Panel sel surya 100 Wp dihubungkan dengan 2 baterai yang dirangkai seri. Pada rangkaian ini juga dipasang saklar yang berfungsi memutus aliran energi yang masuk ke baterai. Pada rangkaian ini juga dipasang suatu dioda yang berfungsi untuk mengatasi aliran energi masuk ke panel sel surya jika tegangan pada baterai lebih besar dari tegangan keluaran sel surya



Gambar 3.14 Rangkaian pengisian baterai dari sel surya 100 Wp

Pada rangkaian pengisian baterai menggunakan panel 80 Wp (Gambar 3.16), Panel sel surya 80 Wp dihubungkan dengan regulator. Regulator ini membatasi tegangan keluaran sel surya sehingga tegangan yang dihasilkan sel surya dikonversi menjadi lebih kecil. Regulator ini dihubungkan dengan saklar dan switch. Pada rangkaian ini switch berfungsi sebagai pemindah pasokan energi dari baterai satu ke baterai lainnya.



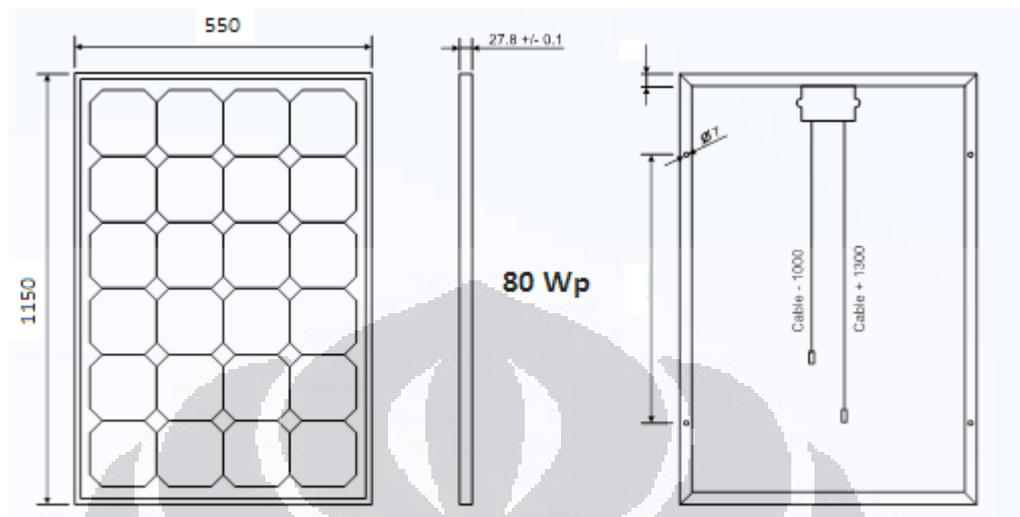
Gambar 3.15 Rangkaian pengisian baterai dari sel surya 80 Wp

B. Komponen yang digunakan

- Panel sel surya 80 Wp

Panel sel surya ini digunakan untuk menyuplai energi yang dikonversikan dari matahari ke energi listrik. Panel sel surya ini menyuplai energi listrik pada 2 baterai dengan sistem switching. Ketika tegangan dari baterai satu sudah sama

dengan tegangan panel sel surya maka energi sel surya diswitching ke baterai yang lain secara manual.



Gambar 3.16 desain panel sel surya 80 Wp

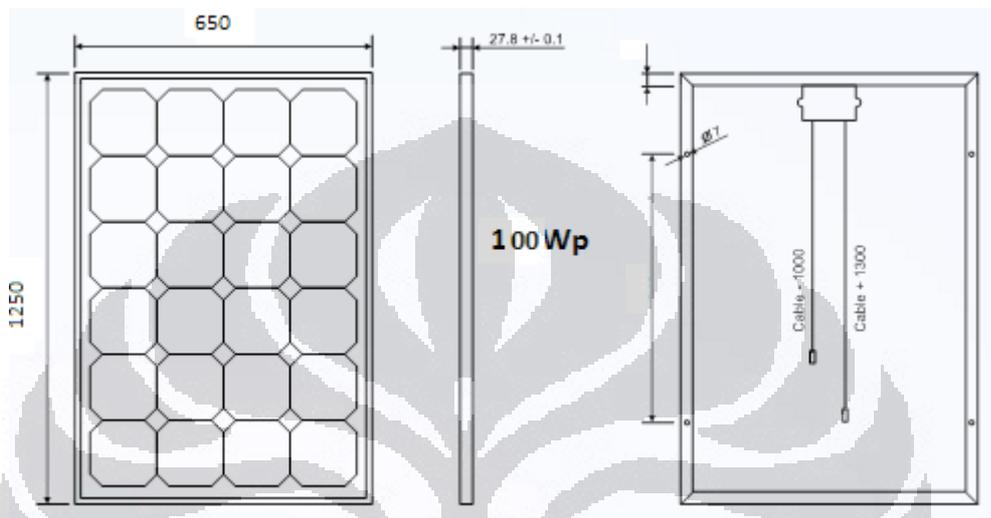
Panel surya ini memiliki panjang dan lebar masing masing 1150 mm dan 550 mm. Ukuran panel ini sangat berpengaruh terhadap desain dari kendaraan listrik sehingga peletakan dari sel surya 80 Wp ini diletakkan dibagian atas. Sedangkan berat berpengaruh terhadap akselerasi kendaraan listrik ini

Spesifikasi sel surya	
Tenaga Maksimal(Wp)	80 Watt
Tegangan Maksimal (Vmp)	17,3 Volt
Arus Maksimal(Imp)	4,63 Ampere
Tegangan Sirkuit terbuka (Vop)	21,6 Volt
Arus Pendek Sirkuit (Isc)	5,15 Ampere
P x L x T	1150 x 550 x 2,78 mm
Berat	±10 kg

Tabel 3.2 Spesifikasi sel surya 80 Wp

□ Panel sel surya 100 Wp

Panel sel surya 100 Wp ini digunakan untuk menyuplai energi yang dikonversikan dari matahari ke energi listrik. Panel sel surya ini menyuplai energi listrik pada 2 baterai yang dirangkai secara seri. Ketika tegangan dari baterai sudah sama dengan tegangan dari panel sel surya 100 Wp maka tidak ada energi yang mengalir ke baterai.



Gambar 3.17 desain panel sel surya 100 Wp

Spesifikasi sel surya	
Tenaga Maksimal(Wp)	100 Watt
Tegangan Maksimal (Vmp)	25,6 Volt
Arus Maksimal(Imp)	3,90 Ampere
P x L x T	1250 x 650 x 27,8 mm
Berat	± 15 kg

Tabel 3.2 Spesifikasi sel surya 100 Wp

□ Regulator

Regulator berfungsi sebagai pengatur tegangan untuk baterai 1 atau baterai 2 sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan lebih kecil daripada tegangan sel surya.



Gambar 3.18 Regulator tegangan

Spesifikasi regulator	
Input tegangan	15 - 22 Volt
Output tegangan	15 Volt
Batas arus	5 Ampere

Tabel 3.4 Spesifikasi Regulator

□ Baterai

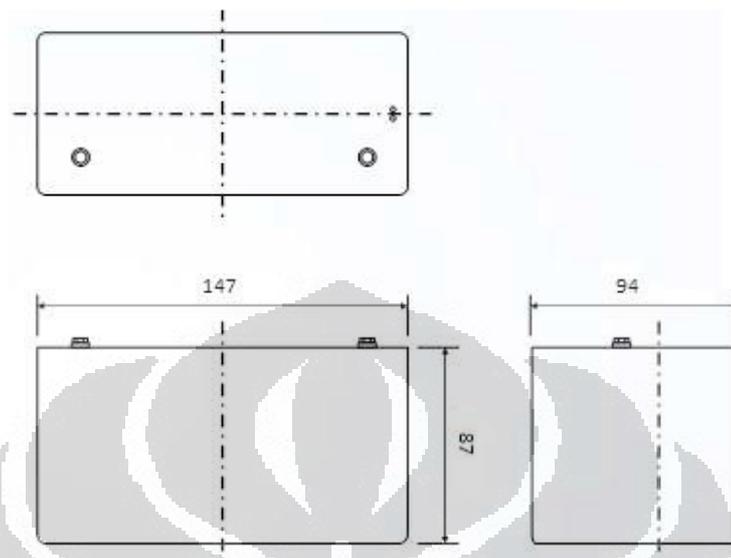
Baterai merupakan bagian yang cukup vital pada kendaraan listrik dalam hal menyimpan energi listrik untuk dapat digunakan sebagai daya penggerak motor dan kontrolnya. Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian / charge energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran / discharge energi kimia diubah menjadi energi listrik (ketika baterai tersebut memberikan arus).



Gambar 3.19 baterai

Pada perancangan ini baterai berfungsi sebagai sumber untuk menyediakan daya arus searah (dc) yang akan disuplai ke controller dengan

tegangan sebesar 48 – 52 Volt. Pemilihan kapasitas baterai bertujuan mengoptimalkan penggunaan energi yang dihasilkan oleh kedua panel sel surya



Gambar 3.20 desain baterai

Jenis	OTODO OT 12-12
Voltase	12 Volt
Kapasitas	12 AH
Dimensi Keseluruhan	147 x 94 x 87

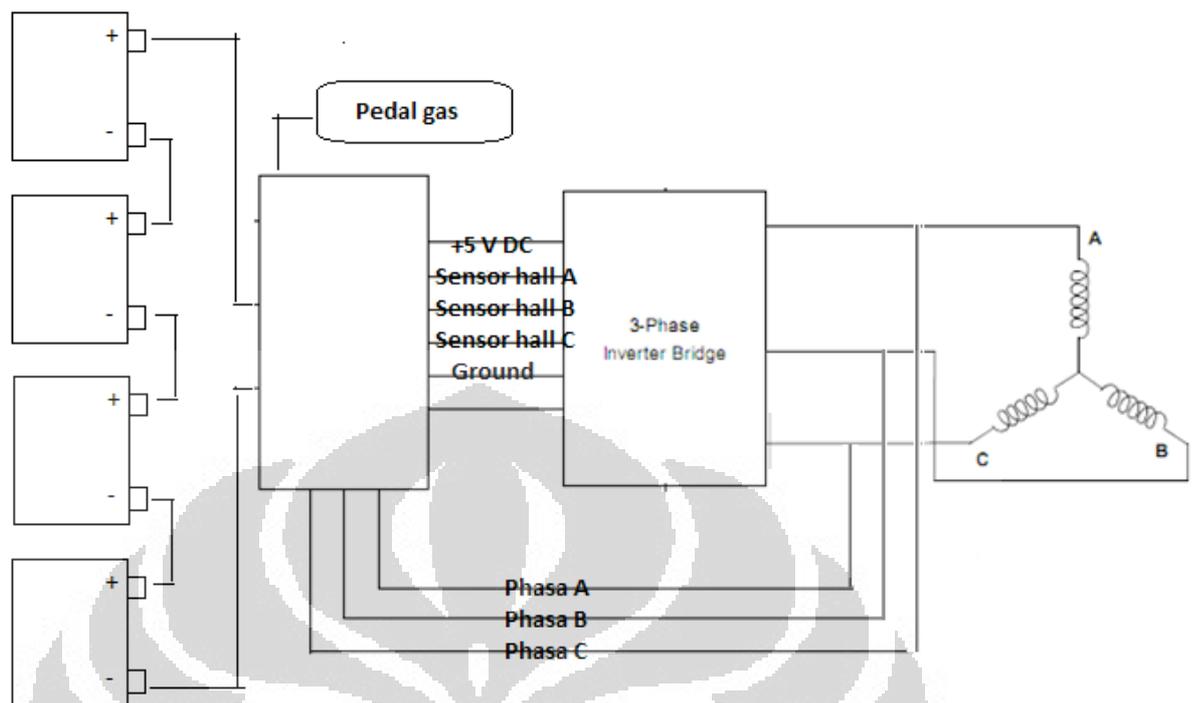
Tabel 3.5 spesifikasi baterai

3.4.2 Controller

Kontrol daya yang akan digunakan pada kendaraan listrik ini berfungsi mengatur daya yang masuk ke motor sesuai pengontrolan kecepatan yang dilakukan oleh pedal gas dari kendaraan listrik

A. Rangkaian controller

Controler terhubung dengan baterai 4 buah baterai 12 volt (terhubung secara seri), pedal gas dan BLDC motor. Controller terdiri dari 3 (tiga) komponen, yaitu microcontroller, motor driver, dan regulator.



Gambar 3.21 Skema sistem controller motor

Microcontroller berfungsi sebagai CPU (Central Processing Unit) yang memberikan input kepada motor driver untuk menggerakkan BLDC motor. Didalam microcontroller terdapat ADC (Analog to digital converter) yang mengubah sinyal analog menjadi digital. Motor driver berfungsi sebagai perantara untuk menggerakkan BLDC (Brushless Direct Current) motor atas perintah microcontroller. Motor driver terdiri dari rangkaian MOSFETs dan transistor. Sedangkan regulator berfungsi sebagai pengubah tegangan dari 48Volt ke 5Volt digunakan untuk supply untuk controller sensor medan magnet pada Pedal gas dan Hall sensor pada BLDC motor

B. Komponen yang digunakan

- Pedal gas

Pedal gas ini digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor dc. Pedal gas ini terhubung dengan controller yang akan memberikan sinyal ke controller sehingga dapat mengatur kecepatan kendaraan listrik.. Pedal gas ini mempunyai pengaturan kecepatan pada low speed dan high speed



Gambar 3.22 Pedal gas

□ Controller motor

Controller ini berfungsi sebagai pengaturan daya untuk menggerakkan motor dc brushless. Controller yang digunakan memiliki 3 konektor. Konektor pertama terhubung dengan pedal gas sebagai pengendali kecepatan. Konektor kedua terhubung dengan baterai sebagai penyuplai energi. Konektor ketiga terhubung dengan motor dc brushless.



Gambar 3.23 Controller motor dc brushless

□ Motor DC brushless

Motor dc brushless menggunakan kombinasi listrik dan magnet untuk menghasilkan gerak mekanis. Operasi motor tergantung pada interaksi dua medan magnet. Secara sederhana dikatakan bahwa motor listrik bekerja dengan prinsip bahwa dua medan magnet dapat dibuat berinteraksi untuk menghasilkan gerakan. Tujuan motor adalah untuk menghasilkan gaya putar yang menggerakkan (torsi). Pada perancangan ini motor dc dicatu oleh tegangan dc untuk kemudian diubah

menjadi AC melalui inverter yang terdapat didalam controller. Untuk mengatur kecepatan motor dc brushless ini, controller akan mengatur suplai energi ke motor dc brushless.



Gambar 3.24 Motor DC brushless



BAB 4 PENGUKURAN DAN ANALISA

Pada bab ini akan disajikan mekanisme pengukuran dan serangkaian uji coba terhadap kendaraan listrik yang telah dibuat. Dari proses pengukuran dan uji coba yang dilakukan kemudian akan didapatkan data hasil pengukuran dan uji coba. Selanjutnya dilakukan proses analisa terhadap data hasil pengukuran dan uji coba ini.

4.1 Mekanisme Pengukuran

Secara garis besarnya proses pengukuran dan uji coba dibagi menjadi pengukuran pada perangkat mekanik dan pengukuran pada perangkat elektrik. Untuk melakukan pengukuran pada perangkat mekanik, maka dibutuhkan perangkat ukur yang disesuaikan dengan parameter (besaran) yang akan diukur. Untuk perangkat mekanik parameter yang akan diukur yaitu banyaknya rotasi per menit (RPM), sehingga perangkat ukur yang diperlukan yaitu tachometer.

Begitu juga untuk melakukan pengukuran pada perangkat elektrik, maka dibutuhkan perangkat ukur yang disesuaikan dengan parameter (besaran) yang akan diukur. Untuk perangkat elektrik parameter yang akan diukur yaitu tegangan (V) dan arus (I), sehingga perangkat ukur yang diperlukan yaitu voltmeter dan amperemeter. Perangkat ukur ini dibagi menjadi 2 yaitu analog dan digital, dalam hal ini perangkat ukur digital lebih memudahkan pembacaan dan pengukuran.

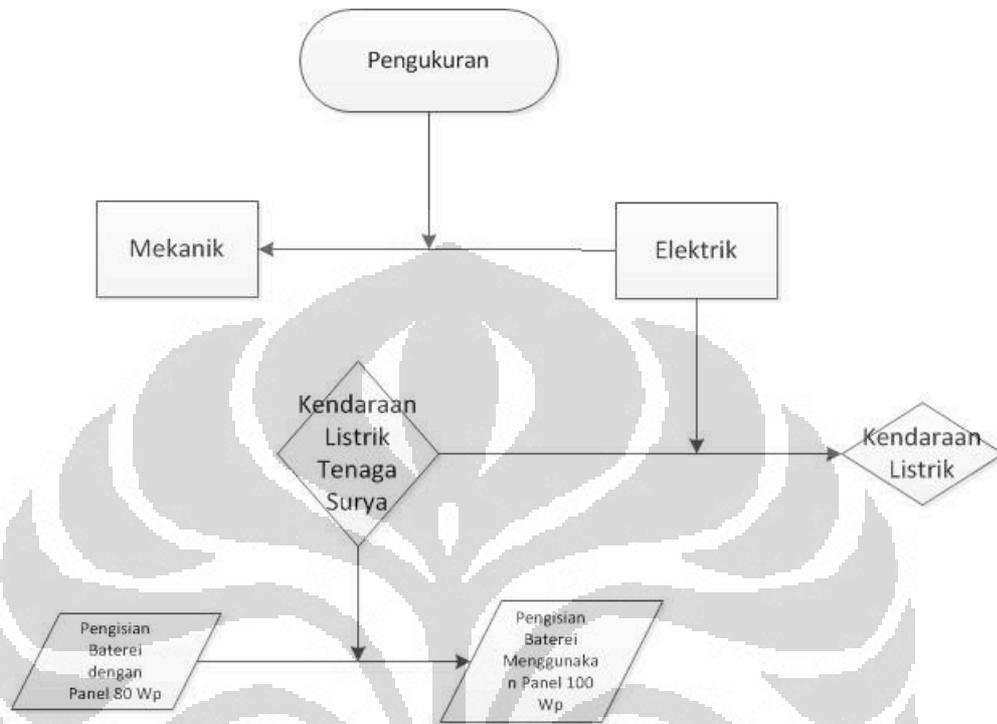
Selain itu juga pada pengukuran perangkat elektrik kita membutuhkan suatu grafik yang menyatakan hubungan antara daya (P) terhadap waktu (t), dan Tegangan (V) terhadap jarak (s) dan waktu sehingga dibutuhkan suatu tambahan perangkat berupa program (software) excel untuk menampilkan grafik hasil pengukuran kendaraan listrik ini.

Pengukuran pada kendaraan listrik bertujuan untuk sebagai berikut :

1. Menghitung daya yang mengalir pada kendaraan listrik.
2. Menghitung energi yang dipakai pada kendaraan listrik.
3. Menghitung lifetime energi pada kendaraan listrik.

4.1.1 Blok Diagram pengukuran

Pada diagram blok berikut akan dijelaskan langkah langkah dari pengukuran yang akan dilakukan.



Gambar 4.1 Blok diagram alir pengukuran

Step 1 : Pengukuran yang dilakukan pertama adalah pengukuran pada sistem mekanik pada kendaraan listrik. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan putaran maksimal dari motor dc brushless ketika keadaan tanpa beban.

Step 2 : Pengukuran yang kedua adalah pengukuran susut tegangan pada baterai. Pengukuran susut tegangan ini digunakan untuk menghitung lifetime energi kendaraan listrik secara perhitungan dan pengukuran.

Step 3 : Pengukuran yang ketiga adalah pengukuran tegangan dan arus untuk menghitung daya dan energi yang dihasilkan oleh panel sel surya ketika dihubungkan dengan baterai.

Step 4 : Pengukuran yang keempat adalah pengukuran susut tegangan pada baterai. Pengukuran susut tegangan ini digunakan untuk menghitung lifetime energi pada kendaraan listrik tenaga surya secara perhitungan dan percobaan.

4.1.2 Perangkat yang digunakan dalam pengukuran

Perangkat yang digunakan dalam pada pengukuran adalah :

1.V-A meter analog

Pada pengukuran ini, V-A meter analog ini berguna untuk mengukur arus yang mengalir pada rangkaian.

2.Multimeter digital

Pada pengukuran ini, Multimeter digital ini berguna untuk mengukur tegangan pada suatu rangkaian.

3.Tachometer

Pada pengukuran ini, Tachometer ini berguna untuk mengukur kecepatan putar motor dc brushless.

4.Timer

Pada pengukuran ini, Timer ini berguna untuk mengukur waktu yang telah ditempuh selama pengukuran

4.1.3 Waktu dan tempat pengukuran

Pengukuran dilakukan di sepanjang jalan alternatif teknik-asrama UI dan di Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, maka pengukuran dilakukan pada siang hari. Pengukuran dilakukan pada tanggal 16 April 2012 – 12 Mei 2012.

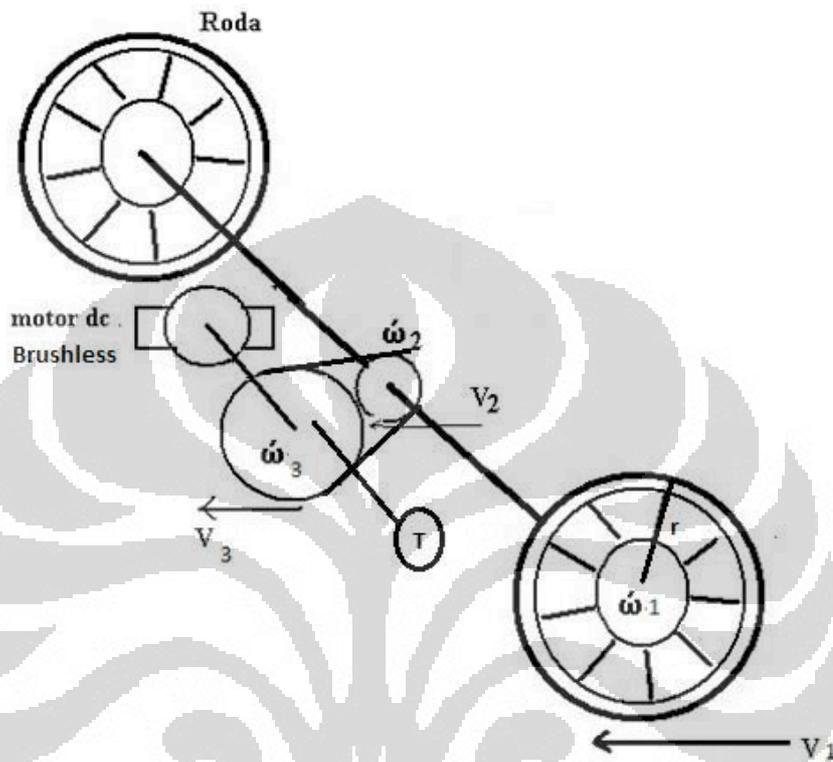
4.2 Pengukuran dan Analisa Sistem Mekanik

Pengukuran pada sistem mekanik dilakukan pada perangkat gearbox untuk mengetahui besar rpm motor dc brushless, dan gear yang digerakkan (the driven gear), gear penggerak (the driving gear) serta pada ban kendaraan listrik tersebut. Pengukuran pada sistem mekanik ini bertujuan untuk mengetahui berapa kecepatan maksimal dari motor dc brushless. Pengukuran ini juga bertujuan untuk menghitung kecepatan maksimal kendaraan listrik.

4.2.1 Rangkaian & Proses Pengukuran

Pada rangkaian pengujian sistem mekanik, perangkat ukur yang digunakan adalah tachometer. Tachometer mempunyai sensor sinar laser, sinar laser pada tachometer ditembakkan pada poros gear yang terkopel pada motor dc brushless. Kemudian pedal gas didorong perlahan-lahan sehingga motor dc brushless dapat berputar pada kecepatan maksimal. Tachometer akan membaca putaran kecepatan

motor dc brushless. Pada pengukuran ini, jumlah mata gear besar dan mata gear kecil juga dihitung untuk menghitung putaran di masing-masing gear. Diameter ban juga diukur untuk menghitung kecepatan linier dari roda.



Gambar 4.2 rangkaian pengujian pada sistem mekanik

4.2.2 Hasil Pengukuran Sistem Mekanik

Berdasarkan pengukuran dengan menggunakan tachometer didapatkan bahwa RPM pada kecepatan maksimal pada poros batang as gear penggerak sebesar 359 RPM.

- Berdasarkan proses pengukuran jumlah gear pada gear yang kecil (gear yang digerakkan atau the driven gear) didapatkan jumlah gear yang besar sebanyak 25 mata gear.
- Berdasarkan proses pengukuran jumlah gear pada gear yang besar (gear penggerak atau the driving gear) didapatkan jumlah gear yang kecil sebanyak 17 mata gear.
- Berdasarkan proses pengukuran pada ban, maka didapatkan panjang diameter ban adalah 33 cm.

Dengan didapatkannya data hasil pengukuran tersebut maka penghitungan untuk mengetahui besar RPM dari motor dc brushless, dan gear yang digerakkan (the driven gear), gear penggerak (the driving gear) serta pada ban kendaraan listrik tersebut dapat dilakukan.

4.2.3 Analisa Hasil Pengukuran

- Penghitungan untuk mengetahui besar RPM pada gear penggerak :

Berdasarkan teori pada bab tiga bahwa untuk dua roda gigi yang dihubungkan sepusat (satu poros), maka hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan sudut yang sama, tetapi dengan kecepatan linear yang berbeda.

Karena batang as yang terdapat poros gearbox dengan gear penggerak dihubungkan sepusat (satu poros), maka hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan sudut yang sama. Sehingga besarnya RPM pada gear penggerak (gear yang kecil) adalah sama dengan besarnya RPM pada batang as yang terdapat poros gearbox. Besarnya RPM pada gear penggerak (gear yang kecil) adalah 359 RPM.

- Penghitungan untuk mengetahui besar RPM pada gear yang digerakkan :

Berdasarkan teori pada bab dua bahwa untuk dua roda gigi yang dihubungkan dengan tali, sabuk, atau rantai, hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan linear yang sama tetapi dengan kecepatan sudut yang berbeda. Karena gear penggerak (gear yang kecil) dengan gear yang digerakkan (gear yang besar) dihubungkan dengan rantai, maka hubungan roda gear jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan linear yang sama tetapi dengan kecepatan sudut yang berbeda. Karena jumlah gear yang kecil 17 mata gear, sedangkan jumlah gear yang besar 25 mata gear, melalui perbandingan dibawah ini bahwa

$$\frac{\text{jumlah mata gear kecil}}{\text{jumlah mata gear besar}} = \frac{\text{besar RPM gear besar}}{\text{besar RPM gear kecil}} \quad (4.1)$$

Sehingga melalui perbandingan rumus di atas maka besarnya RPM pada gear besar

$$\text{Besar RPM gear kecil} = \frac{\text{jumlah mata gear besar}}{\text{jumlah mata gear kecil}} \times \text{besar RPM gear besar}$$

$$\text{Besar RPM gear kecil} = \frac{25}{17} \times 359 \text{ RPM}$$

$$\text{Besar RPM gear kecil} = 527,941 \text{ RPM}$$

□ Penghitungan untuk mengetahui besar RPM pada roda ban :

Berdasarkan teori pada bab tiga bahwa untuk dua roda gigi yang dihubungkan sepusat (satu poros), maka hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan sudut yang sama, tetapi dengan kecepatan linear yang berbeda. Karena gear yang besar (gear yang digerakkan) dengan roda ban dihubungkan sepusat (satu poros), maka hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan sudut yang sama. Sehingga besarnya rpm pada roda ban adalah sama dengan besarnya RPM pada gear yang besar (gear yang digerakkan). Besarnya RPM pada roda ban adalah 527, 941 RPM .

Berdasarkan proses pengukuran pada roda ban, maka didapatkan panjang diameter ban adalah 33 cm. = 0,33 m. Karena roda ban berbentuk lingkaran, maka kita dapat menghitung keliling roda dengan persamaan berikut :

$$\text{Keliling roda ban} = \pi \times \text{diameter ban} \quad (4.2)$$

Sehingga melalui rumus di atas maka besar dari keliling roda adalah

$$\text{Keliling roda ban} = 3,14 \times 0,33 \text{ m}$$

$$\text{Keliling roda ban} = 1,036 \text{ meter}$$

Artinya setiap roda ban melakukan putaran 1 kali, maka jarak yang ditempuhnya sejauh 1,036 meter. Apabila roda ban melakukan 527,941 kali putaran dalam satu menit, maka jarak yang ditempuhnya adalah :

$$\text{Jarak tempuh setiap menit} = \text{keliling roda ban} \times \text{besar rpm maksimal} \quad (4.3)$$

Sehingga melalui rumus di atas maka jarak tempuh untuk setiap menit pada kecepatan maksimal adalah

$$\text{Jarak tempuh setiap menit} = 1,036 \text{ meter} \times 527,941 \text{ RPM}$$

$$\text{Jarak tempuh setiap menit} = 547,052 \text{ meter}$$

Dari hasil pengukuran dan perhitungan, maka kendaraan listrik ini dapat menempuh jarak sejauh 547,052 meter dalam waktu satu menit pada kecepatan maksimum.

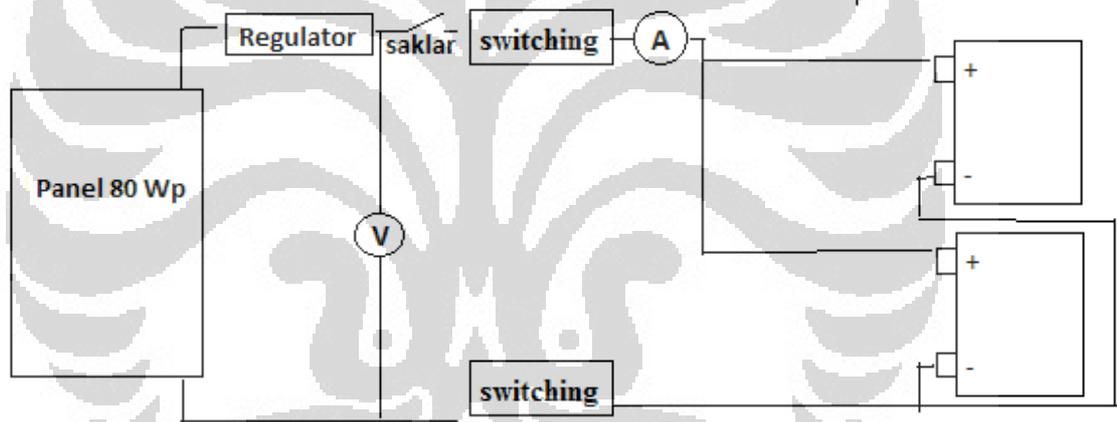
4.3 Pengukuran Dan Analisa Pengisian Baterai Oleh Panel Sel Surya 80 Wp

Pengujian pengisian baterai bertujuan

- Untuk mengetahui daya rata-rata yang masuk ke baterai
- Untuk mengetahui energi listrik rata-rata yang dihasilkan oleh panel surya

4.3.1 Rangkaian & Proses Pengukuran

Pada rangkaian pengukuran ini, Panel sel surya 80 Wp akan dihubungkan dengan regulator sehingga tegangan yang dihasilkan relatif stabil. Regulator dihubungkan dengan sebuah switch yang berfungsi sebagai pengalihan energi jika baterai yang diisi telah penuh sehingga switch akan off dan on pada baterai yang lain. Voltmeter dipasang paralel pada baterai dan amperemeter dipasang seri diantara regulator dan baterai.



Gambar 4.3 Rangkaian pengukuran pengisian baterai oleh panel sel surya 80 Wp

Pada proses pengukuran ini akan dilakukan pengukuran tegangan dan arus menggunakan voltmeter dan amperemeter. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan setiap 2 menit. Untuk pengukuran arus maka nilai yang tertera pada alat ukur akan dicatat. Untuk pengukuran tegangan menggunakan voltmeter maka pengukuran dilakukan setelah saklar pada keadaan terbuka, sehingga tegangan yang diukur adalah tegangan pada baterai. Untuk menghitung daya dan energi yang dihasilkan oleh sel surya pada pengukuran maka dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$P = V \times I \quad (4.4)$$

$$W = P \times \frac{2 \text{ h}}{60} \quad (4.5)$$

Berdasarkan persamaan 4.4 maka daya rata-rata dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$P_{\text{rata rata}} = \frac{\sum_{o}^n P \text{ (Watt)}}{n} \quad (4.6)$$

Dimana

P = Daya yang masuk ke baterai dalam watt [W]

n = jumlah pengukuran yang dilakukan

Untuk menghitung energi listrik yang dihasilkan untuk waktu tertentu maka dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$W = \sum_{o}^H P \times t \text{ (Watt Hours)} \quad (4.7)$$

Dimana

W = Energi listrik yang masuk ke baterai dalam watt.hour [Wh]

t = total waktu pengukuran dalam jam

Grafik tegangan dan arus yang dihasilkan terhadap waktu yang dihasilkan panel sel surya 80 Wp akan diplot untuk dianalisis.

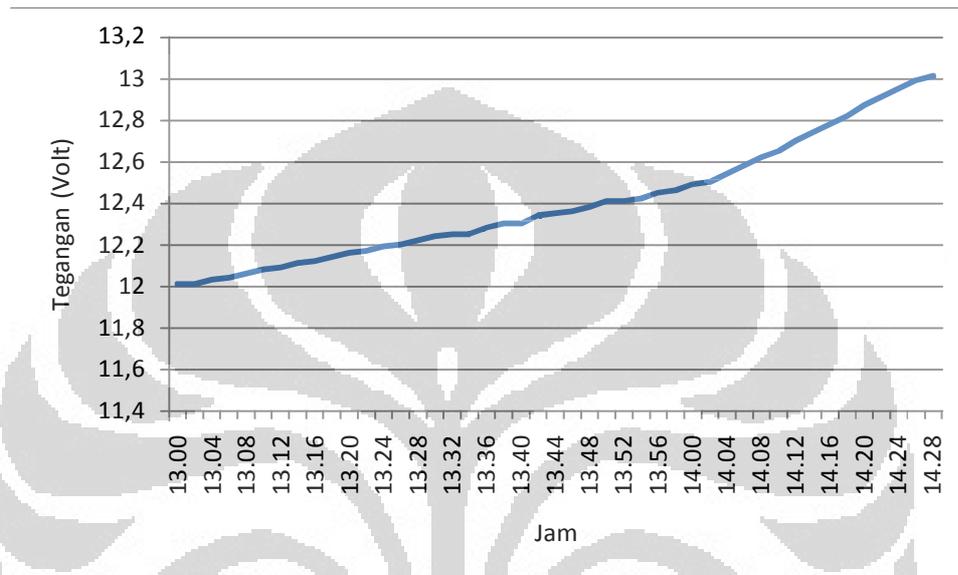
4.3.2 Analisa Hasil Pengukuran

Pengukuran pengisian baterai ini menggunakan panel sel surya 80 Wp. Pengukuran ini dimulai pada jam 13.00 dimana tegangan awal dari baterai adalah 12,01 V. Pengukuran dihentikan ketika kapasitas baterai telah mencapai kondisi 100%. Setelah melakukan pengisian energi listrik selama 88 menit, maka tegangan baterai berubah menjadi 13,01 V. Data hasil pengukuran yang telah dilakukan tersedia pada lampiran.

A. Tegangan terhadap waktu

Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya cenderung stabil karena penggunaan regulator tegangan. Tegangan output regulator cenderung stabil, hal

ini disebabkan tegangan yang dihasilkan sel surya lebih besar daripada tegangan keluaran dari regulator. Tegangan keluaran regulator ketika percobaan adalah 14,8 – 15 Volt. Karena perbedaan tegangan output regulator dengan tegangan pada baterai, maka arus akan mengalir masuk ke baterai. Tegangan baterai akan naik perlahan lahan sehingga mencapai nilai 13,01 volt ketika baterai telah diisi selama 88 menit. Grafik penaikan tegangan baterai ini dapat dilihat pada gambar (4.4)

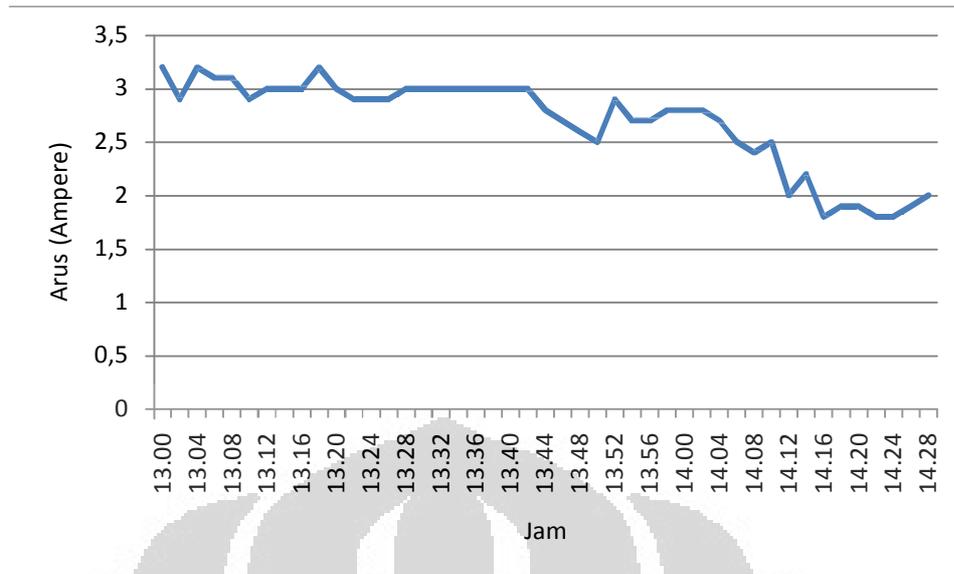


Gambar 4.4 Grafik pengukuran tegangan pada baterai

B. Arus terhadap waktu

Arus yang masuk ke baterai dipengaruhi intensitas cahaya matahari yang berubah ubah maka arus yang dihasilkan oleh panel sel surya juga berubah. Penurunan arus yang mengalir ke baterai disebabkan oleh intensitas cahaya matahari yang berkurang, hal ini disebabkan oleh sinar matahari yang tertutup awan.

Nilai arus yang paling tinggi pada saat pengukuran adalah 3,2 A, Arus ini terjadi saat tegangan baterai masih 12,01 Volt. Pada gambar 4.5 terlihat bahwa arus yang mengalir ke baterai cenderung berkurang, hal ini disebabkan oleh perbedaan tegangan regulator pada sel surya dengan tegangan pada baterai semakin kecil sehingga arus yang mengalir masuk juga semakin kecil.



Gambar 4.5 Grafik arus yang masuk ke baterai

4.3.3 Analisa Hasil Pengukuran dengan Perhitungan secara Teori

Pada analisa ini akan disajikan perhitungan daya dan energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya. Perhitungan daya dan energi listrik didasarkan pada hasil pengukuran tegangan dan arus yang telah dilakukan.

Contoh untuk data nomor 4, Tegangan dari baterai adalah 12,04 dengan arus yang mengalir pada baterai 3,1 Ampere maka perhitungan energi dan daya dapat menggunakan persamaan 4.4 dan persamaan 4.5.

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk mencari daya (P)} &= V \times I \\
 &= 12,04 \text{ Volt} \times 3,1 \text{ Ampere} \\
 &= 37,324 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk mencari energi (W)} &= P \times \frac{2 \text{ h}}{60} \\
 &= 37,324 \times \frac{2 \text{ h}}{60} \\
 &= 1,244 \text{ Watt hour}
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan hasil perhitungan dengan data lain maka sama seperti langkah diatas, data akan diproses melalui excel. Dan untuk memudahkan pembacaan dari hasil perhitungan maka data dihasilkan dalam bentuk tabel

Tabel 4.1 perhitungan daya dan energi yang dihasilkan oleh panel sel surya 80 Wp

No	V (Volt)	I (ampere)	P (Watt)	W (Watt.hour)
1	12,01	3,2	38,43	1,28
2	12,01	2,9	34,83	1,16

3	12,03	3,2	38,50	1,28
4	12,04	3,1	37,32	1,24
5	12,06	3,1	37,39	1,25
6	12,08	2,9	35,03	1,17
7	12,09	3	36,27	1,21
8	12,11	3	36,33	1,21
9	12,12	3	36,36	1,21
10	12,14	3,2	38,85	1,29
11	12,16	3	36,48	1,22
12	12,17	2,9	35,29	1,18
13	12,19	2,9	35,35	1,18
14	12,2	2,9	35,38	1,18
15	12,22	3	36,66	1,22
16	12,24	3	36,72	1,22
17	12,25	3	36,75	1,23
18	12,25	3	36,75	1,23
19	12,28	3	36,84	1,23
20	12,3	3	36,90	1,23
21	12,3	3	36,90	1,23
22	12,34	3	37,02	1,23
23	12,35	2,8	34,58	1,15
24	12,36	2,7	33,37	1,11
25	12,38	2,6	32,19	1,07
26	12,41	2,5	31,03	1,03
27	12,41	2,9	35,99	1,20
28	12,42	2,7	33,53	1,12
29	12,45	2,7	33,62	1,12
30	12,46	2,8	34,89	1,16
31	12,49	2,8	34,97	1,17
32	12,5	2,8	35,00	1,17
33	12,54	2,7	33,86	1,13
34	12,58	2,5	31,45	1,05
35	12,62	2,4	30,29	1,01
36	12,65	2,5	31,63	1,05
37	12,7	2	25,40	0,85
38	12,74	2,2	28,03	0,93
39	12,78	1,8	23,00	0,77
40	12,82	1,9	24,36	0,81
41	12,87	1,9	24,45	0,82
42	12,91	1,8	23,24	0,77
43	12,95	1,8	23,31	0,78
44	12,99	1,9	24,68	0,82
45	13,01	2	26,02	0,87

Daya rata yang masuk ke baterai dapat dihitung seperti persamaan 4.6 berikut

$$\text{Untuk mencari daya rata-rata (P)} = \frac{\sum_0^n P \text{ (Watt)}}{n}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk mencari daya rata-rata (P)} &= \frac{1495,227 \text{ Watt}}{45} \\ &= 33,227 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Untuk menghitung energi total yang dihasilkan oleh sel surya selama 88 menit atau 1,466 jam maka dapat dihitung seperti persamaan 4.7

$$\begin{aligned} \text{Untuk mencari energi total (W)} &= \sum_0^H P \times t \text{ (Watt Hours)} \\ &= 49,8409 \text{ Watt Hours} \end{aligned}$$

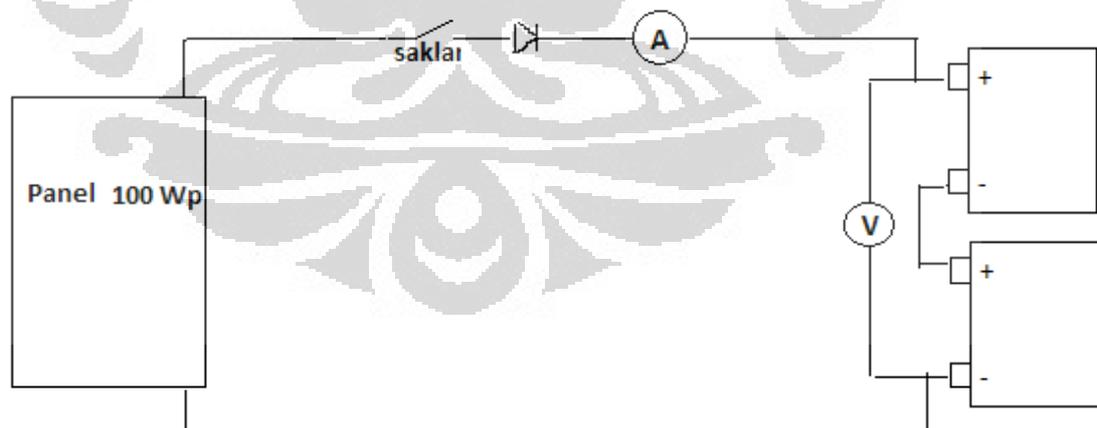
4.4 Pengukuran Dan Analisa Pengisian Baterai Oleh Panel Sel Surya 100 Wp

Pengujian pengisian baterai bertujuan

- Untuk mengetahui daya rata-rata yang masuk ke baterai
- Untuk mengetahui energi listrik rata-rata yang dihasilkan oleh panel surya

4.4.1 Rangkaian & Prosedur Pengukuran

Pada rangkaian pengukuran ini, Panel sel surya 100 Wp akan dihubungkan dengan 2 buah baterai yang terhubung seri. Amperemeter akan dipasang seri diantara panel dan baterai dan voltmeter akan dipasang paralel.



Gambar 4.6 Rangkaian pengukuran pengisian baterai oleh panel sel surya 100 Wp

Pada pengukuran ini akan dilakukan pengukuran tegangan dan arus menggunakan voltmeter dan amperemeter. Pengukuran tegangan dan arus

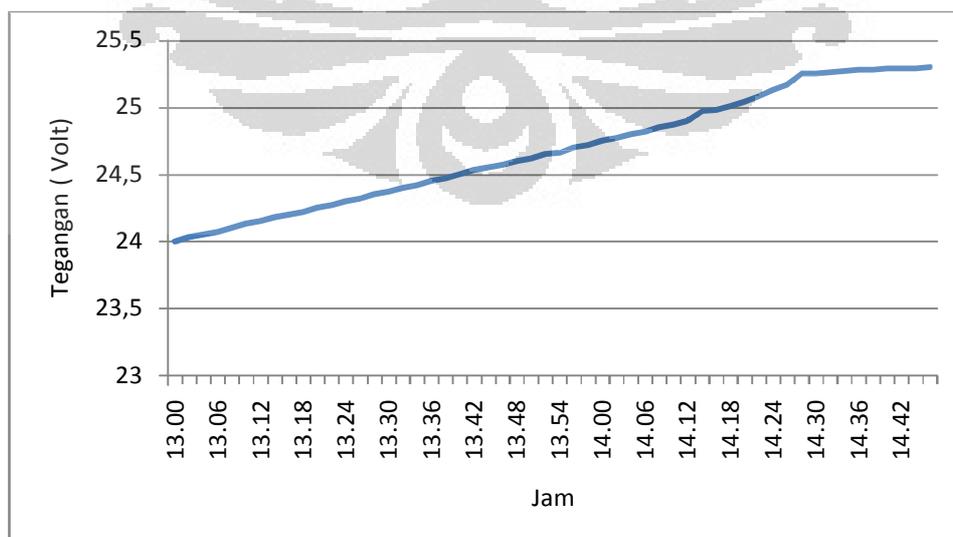
dilakukan setiap 2 menit. Pengukuran tegangan dan arus ini digunakan untuk menghitung daya dan energi yang dihasilkan oleh panels sel surya. Perhitungan daya dan energi dapat menggunakan persamaan 4.4 dan 4.5. Untuk menghitung daya rata-rata dan energi maka perhitungan dapat menggunakan persamaan 4.6 dan 4.7. Hasil pengukuran tegangan dan arus terhadap waktu yang dihasilkan panel sel surya 100 Wp akan diplot untuk dianalisis.

4.4.2 Analisa Hasil Pengukuran

A. Tegangan terhadap waktu

Pengukuran pengisian baterai ini menggunakan panel sel surya 100 Wp yang dimulai pada jam 13.00 dimana tegangan awal dari 2 baterai yang dirangkai seri adalah 24 V. Setelah melakukan pengisian energi listrik 106 menit, tegangan baterai berubah menjadi 25,3 V. Pada keadaan ini tegangan baterai telah maksimal sehingga tidak bisa diisi lagi

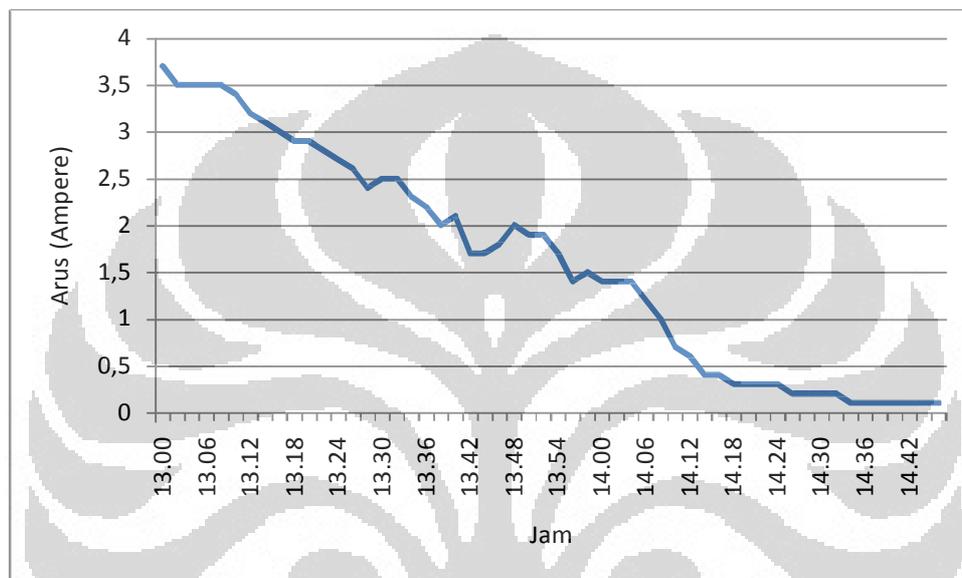
Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sel surya berubah ubah tergantung intensitas cahaya matahari yang mengenai panel sel surya 100 Wp. Akan tetapi perubahan tegangan tidak terlalu signifikan sehingga energi listrik dapat dialirkan tetap masuk ke baterai karena tegangan keluaran dari panel sel surya lebih tinggi daripada tegangan baterai. Tegangan baterai tidak naik lagi pada nilai 25,3 V, hal ini disebabkan karena tegangan keluaran dari panel sel surya sudah sama dengan tegangan dari baterai. Pengisian energi listrik dari panel sel surya untuk mencapai tegangan maksimum berlangsung selama 106 menit.



Gambar 4.7 Grafik pengukuran tegangan pada baterai

B. Arus terhadap waktu

Arus yang masuk ke baterai dipengaruhi intensitas cahaya matahari yang berubah ubah maka arus yang dihasilkan oleh panel sel surya juga berubah. Penurunan arus yang mengalir ke baterai disebabkan oleh intensitas cahaya matahari yang berkurang, hal ini disebabkan oleh sinar matahari yang tertutup awan. Nilai arus yang paling tinggi pada saat pengukuran adalah 3,7 A, Arus ini terjadi saat tegangan baterai masih 24 V.



Gambar 4.8 Grafik arus yang masuk ke baterai

Arus yang masuk ke baterai cenderung turun karena beda tegangan antara tegangan keluaran panel sel surya 100 Wp dengan tegangan baterai semakin kecil. Ketika tegangan mencapai 25,3 V maka dapat dilihat bahwa arus yang dihasilkan panel sel surya hanya 0,1 Ampere

4.4.3 Analisa Hasil Pengukuran Dengan Hasil Perhitungan Secara Teori

Pada analisa ini akan disajikan perhitungan daya dan energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya. Perhitungan daya dan energi listrik didasarkan pada hasil pengukuran dan arus yang telah dilakukan.

Untuk menghitung daya dan energi dapat menggunakan persamaan 4.4 dan persamaan 4.5. Sebagai contoh pada data nomor 4, tegangan dari baterai adalah 24,07 dengan arus yang mengalir pada baterai 3,1 Ampere maka

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk mencari daya (P)} &= V \times I \\
 &= 24,07 \text{ Volt} \times 3,5 \text{ Ampere} \\
 &= 84,245 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk mencari energi (W)} &= P \times \frac{2 \text{ h}}{60} \\
 &= 84,245 \times \frac{2 \text{ h}}{60} \\
 &= 2,808 \text{ Watt hour}
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan hasil perhitungan dengan data lain maka sama seperti langkah diatas, data akan diproses melalui excel. Dan untuk memudahkan pembacaan dari hasil perhitungan maka data dihasilkan dalam bentuk tabel.

Tabel 4.2 perhitungan daya dan energi yang dihasilkan oleh sel surya 100 Wp

No	V (Volt)	I (ampere)	P (watt)	W (Watt.Hour)
1	24	3,7	88,80	2,96
2	24,03	3,5	84,11	2,80
3	24,05	3,5	84,18	2,81
4	24,07	3,5	84,25	2,81
5	24,1	3,5	84,35	2,81
6	24,13	3,4	82,04	2,73
7	24,15	3,2	77,28	2,58
8	24,18	3,1	74,96	2,50
9	24,2	3	72,60	2,42
10	24,22	2,9	70,24	2,34
11	24,25	2,9	70,33	2,34
12	24,27	2,8	67,96	2,27
13	24,3	2,7	65,61	2,19
14	24,32	2,6	63,23	2,11
15	24,35	2,4	58,44	1,95
16	24,37	2,5	60,93	2,03
17	24,4	2,5	61,00	2,03
18	24,42	2,3	56,17	1,87
19	24,45	2,2	53,79	1,79
20	24,47	2	48,94	1,63
21	24,5	2,1	51,45	1,72
22	24,53	1,7	41,70	1,39
23	24,55	1,7	41,74	1,39
24	24,57	1,8	44,23	1,47
25	24,6	2	49,20	1,64
26	24,62	1,9	46,78	1,56
27	24,65	1,9	46,84	1,56
28	24,66	1,7	41,92	1,40

29	24,7	1,4	34,58	1,15
30	24,72	1,5	37,08	1,24
31	24,75	1,4	34,65	1,16
32	24,77	1,4	34,68	1,16
33	24,8	1,4	34,72	1,16
34	24,82	1,2	29,78	0,99
35	24,85	1	24,85	0,83
36	24,87	0,7	17,41	0,58
37	24,9	0,6	14,94	0,50
38	24,97	0,4	9,99	0,33
39	24,98	0,4	9,99	0,33
40	25,01	0,3	7,50	0,25
41	25,04	0,3	7,51	0,25
42	25,08	0,3	7,52	0,25
43	25,13	0,3	7,54	0,25
44	25,17	0,2	5,03	0,17
45	25,25	0,2	5,05	0,17
46	25,25	0,2	5,05	0,17
47	25,26	0,2	5,05	0,17
48	25,27	0,1	2,53	0,08
49	25,28	0,1	2,53	0,08
50	25,28	0,1	2,53	0,08
51	25,29	0,1	2,53	0,08
52	25,29	0,1	2,53	0,08
53	25,29	0,1	2,53	0,08
54	25,3	0,1	2,53	0,08

Daya rata yang masuk ke baterai dapat dihitung seperti persamaan 4.6

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk mencari daya rata-rata (P)} &= \frac{\sum_{i=1}^n P \text{ (Watt)}}{n} \\
 &= \frac{2123,659 \text{ Watt}}{54} \\
 &= 39,327 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung energi total yang dihasilkan oleh sel surya selama 106 menit atau 1,766 jam maka dapat dihitung seperti persamaan 4.7

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk mencari energi total (W)} &= \sum_{i=1}^H P \text{ (Watt Hours)} \\
 &= 70,788 \text{ Watt Hours}
 \end{aligned}$$

4.5 Pengukuran Dan Analisa Kendaraan Listrik

Tujuan dari pengukuran pada kendaraan listrik ini adalah

- Untuk melihat berapa lama energi listrik yang dapat digunakan pada kendaraan listrik untuk mencapai tegangan tertentu.
- Untuk melihat penurunan tegangan berdasarkan waktu pengukuran

4.5.1 Rangkaian & Proses Pengukuran

Pada pengukuran kendaraan listrik ini, kendaraan listrik bergerak untuk menempuh jarak dan waktu tertentu. Tegangan awal dan akhir baterai diukur untuk melihat penurunan tegangan pada setiap posisi. Jarak dan waktu yang telah ditempuh juga diukur untuk mendapatkan grafik penurunan tegangan terhadap waktu.



Gambar 4.9 Ilustrasi Pengukuran Kendaraan Listrik

4.5.2 Hasil Pengukuran

Tegangan awal dari baterai yang dirangkai seri pada kendaraan listrik adalah 52,04 V. Penurunan tegangan akan dicatat setelah menempuh jarak dan waktu. Pada pengukuran terlihat ketika kendaraan listrik bergerak menempuh jarak tertentu maka energi untuk menggerakkan motor hanya bergantung pada energi baterai. Pengukuran dilakukan sampai tegangan dari baterai mencapai kapasitas 50%. Tegangan akhir dari pengukuran yang ingin dicapai adalah ketika tegangan mencapai nilai 48 V.

Pada grafik terlihat bahwa penurunan tegangan baterai turun seiring dengan jarak dan waktu yang telah ditempuh. Ketika tegangan akhir telah mencapai nilai 47,97 V maka pengukuran telah menempuh jarak 13110 meter selama 2590 sekon. Maka kecepatan rata-rata ketika pengukuran dapat dihitung dengan persamaan berikut :

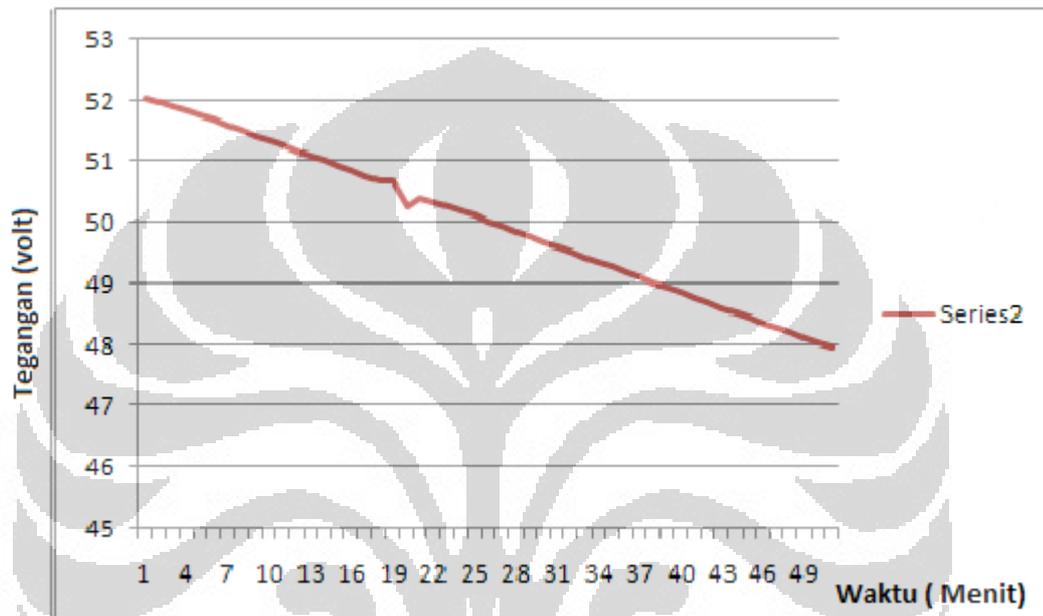
$$v = \frac{s}{t} \quad (4.8)$$

Sehingga untuk menentukan kecepatan rata-rata ketika pengukuran maka

$$\text{kecepatan rata-rata } (v) = \frac{s}{t}$$

$$\text{kecepatan rata-rata } (v) = \frac{13110 \text{ meter}}{2590 \text{ sekon}}$$

$$\text{kecepatan rata-rata } (v) = 5,06 \text{ m/s}$$



Gambar 4.10 Grafik penurunan tegangan baterai

4.5.3 Hasil Perhitungan Secara Teori

Pada pengukuran energi yang dipakai pada baterai hanya 50%, hal ini disebabkan oleh penurunan tegangan dari 52 V menjadi 48 V sehingga energi yang telah dipakai dapat dihitung seperti persamaan berikut

$$\text{Energi yang terpakai (W)} = \text{Kapasitas (\%)} \times \text{VAh}_{\text{baterai}} \quad (4.9)$$

Maka untuk mencari energi yang terpakai ketika pengukuran

$$\text{Energi (W)} = \text{Kapasitas (\%)} \times \text{VAh}_{\text{baterai}}$$

$$\text{Energi (W)} = 50 \% \times 12 \text{ Volt} \times 12 \text{ Ampere.hour}$$

$$\text{Energi (W)} = 288 \text{ Watt.hour}$$

Motor Dc brushless yang digunakan mempunyai daya 350 Watt, dengan asumsi seperti maka lama energi yang digunakan dapat dihitung melalui persamaan berikut

$$\text{Lifetime energi (t)} = \frac{W}{P \text{ motor}} \quad (4.10)$$

Maka untuk mencari lifetime energi ketika pengukuran

$$\text{Lifetime energi (t)} = \frac{288 \text{ Watt hour}}{350 \text{ Watt}}$$

$$\text{Lifetime energi (t)} = 0,82 \text{ hour}$$

Maka energi yang digunakan akan habis dalam waktu 0,82 hour. Untuk memudahkan analisa maka lifetime energi diubah menjadi satuan menit, sehingga dapat dihitung

$$\begin{aligned} \text{Lifetime energi (t)} &= 0,82 \text{ hour} \times \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ hour}} \\ &= 49,371 \text{ menit} \end{aligned}$$

4.5.4 Analisa Perbandingan Hasil Pengukuran Dengan Hasil Perhitungan

Pada hasil perhitungan, untuk menghabiskan 50 % kapasitas baterai maka lifetime energi dari kendaraan listrik akan habis selama 49,371 menit. Pada perhitungan ini asumsi yang dipakai adalah penggunaan daya motor 350 Watt. Perhitungan tidak melibatkan losses yang terjadi pada kabel dan perhitungan juga tidak melibatkan seberapa besar daya yang digunakan oleh controller.

Sedangkan pada hasil pengukuran untuk menghabiskan 50 % kapasitas baterai maka waktu yang dibutuhkan adalah 43,166 menit. Pada pengukuran tegangan awal dan akhir diukur untuk menunjukkan penurunan tegangan pada jarak tertentu. Perlakuan kendaraan listrik ketika pengukuran akan mempengaruhi daya yang digunakan pada controller. Ketika pengukuran kendaraan listrik, kendaraan listrik bergerak dengan torsi yang besar sehingga daya awal yang digunakan juga cukup besar. Ketika pengukuran kendaraan listrik juga mengalami perubahan kecepatan sehingga daya total yang digunakan juga akan berbeda. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan hasil pengukuran dan hasil perhitungan. Kemungkinan lain adalah tingkat presisi pengukuran yang dilakukan.

4.6 Pengukuran Dan Analisa Kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya

Tujuan dari pengukuran pada kendaraan listrik ini adalah

- Untuk melihat berapa lama energi listrik yang dapat digunakan pada kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya untuk (KLTS) mencapai tegangan tertentu.
- Untuk melihat penurunan tegangan berdasarkan waktu pengukuran.

4.6.1 Rangkaian Pengukuran

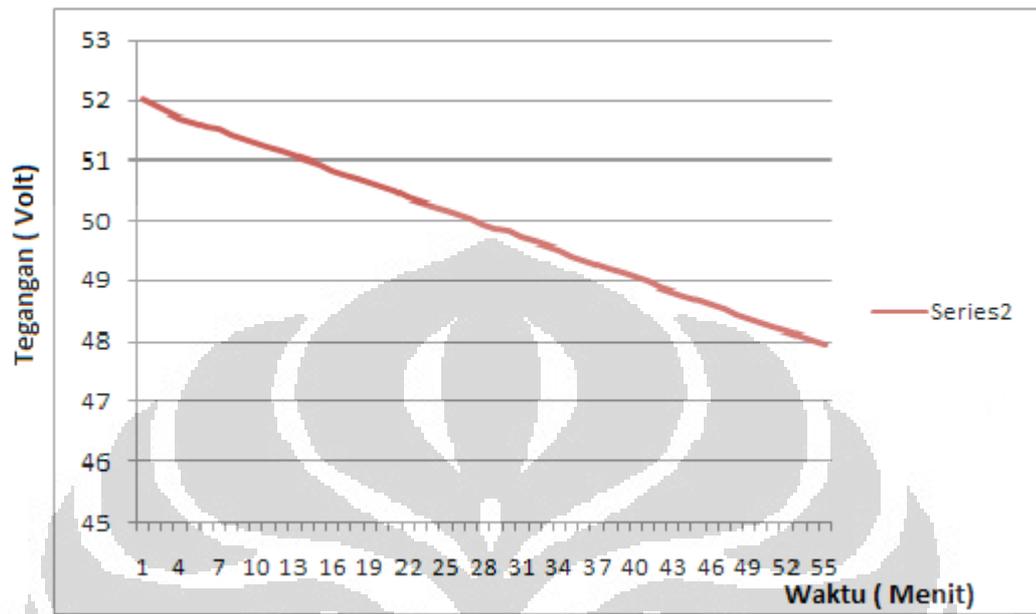
Pada pengukuran penurunan tegangan baterai pada kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya ini, kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya bergerak untuk menempuh jarak dan waktu tertentu. Tegangan awal dan akhir baterai diukur untuk melihat penurunan tegangan pada setiap posisi. Pada pengukuran tegangan awal dan akhir pada baterai diukur menggunakan voltmeter dengan memutus aliran energi yang berasal dari kedua panel sel surya. Pemutusan aliran ini bertujuan untuk mendapatkan tegangan pada baterai saja. Jarak dan waktu yang telah ditempuh juga diukur untuk mendapatkan grafik penurunan tegangan terhadap waktu. Proses pengukuran sama seperti pengukuran pada kendaraan listrik seperti pada gambar 4.9. Pada proses pengukuran kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya bergerak menempuh jarak tertentu dengan menggunakan energi dari energi baterai dan energi sel surya. Pengukuran dilakukan sampai tegangan dari baterai mencapai kapasitas 50%. Tegangan akhir dari pengukuran yang ingin dicapai adalah ketika tegangan mencapai nilai 48 V.

4.6.2 Hasil Pengukuran

Tegangan awal dari baterai yang dirangkai seri pada kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya adalah 52,02 V. Penurunan tegangan akan dicatat setelah menempuh jarak dan waktu. Tegangan awal dari baterai adalah 52,02 V dan ketika telah menempuh jarak sejauh 15530 meter selama 3118 sekon maka terjadi penurunan tegangan baterai sampai 47,96 V.

Pada grafik terlihat bahwa penurunan tegangan baterai seiring dengan jarak dan waktu yang telah ditempuh. Ketika tegangan akhir telah menunjukkan 47,96 V maka pengukuran yang telah dilakukan telah menempuh jarak 15530 meter selama 3118 sekon. Pada hasil pengukuran dapat disimpulkan bahwa

lifetime energi pada baterai lebih lama dibandingkan pengukuran kendaraan listrik tanpa panel, hal ini disebabkan energi pada baterai juga berasal dari panel sel surya.



Gambar 4.11 Grafik penurunan tegangan baterai

Maka kecepatan rata-rata ketika pengukuran dapat dihitung dengan persamaan 4.8 .

$$\begin{aligned} \text{Untuk kecepatan rata-rata (v)} &= \frac{t}{t} \\ &= \frac{15530 \text{ meter}}{3118 \text{ ekon}} \\ &= 4,98 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Maka kecepatan rata-rata pengukuran kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya dengan kendaraan listrik tidak jauh berbeda.

4.6.3 Hasil Perhitungan Secara Teori

Ketika pengukuran energi yang dipakai pada baterai hanya 50%, hal ini disebabkan oleh penurunan tegangan dari 52 V menjadi 48 V sehingga energi yang telah dipakai dapat dihitung seperti persamaan 4.9

$$\text{Energi (W)} = \text{Kapasitas (\%)} \times \text{VAh}_{\text{baterai}}$$

$$\text{Energi (W)} = 50 \% \times 12 \text{ Volt} \times 12 \text{ Ampere.hour}$$

$$\text{Energi (W)} = 288 \text{ Watt.hour}$$

Pengukuran pada kendaraan listrik berlangsung selama 3118 detik, untuk mengubahnya dalam satuan jam maka dapat dihitung seperti persamaan berikut

$$\begin{aligned}\text{Waktu pengukuran KLTS (H1)} &= 3118 \times \frac{\text{hour}}{3600} \\ &= 0,861 \text{ h}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengukuran pada pengisian panel surya 80 Wp, didapatkan bahwa pengukuran ini dilakukan selama 1,466 jam

$$\text{Waktu pengukuran sel surya 80 Wp (H2)} = 1,466 \text{ h}$$

Maka untuk menghitung energi yang masuk baterai ketika proses pengukuran pada kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya maka energi dapat dihitung dengan menggunakan perbandingan berikut.

$$\frac{\text{Energi pengukuran KLTS}}{\text{Energi pengukuran sel surya 80 Wp}} = \frac{H1}{H2} \quad (4.11)$$

Maka energi listrik ketika proses pengukuran dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Energi pengukuran KLTS} = \frac{\text{Energi pengukuran sel surya} \times (H1)}{(H2)}$$

$$\text{Energi pengukuran KLTS} = 49,841 \text{ Watt hour} \times \frac{0,861 \text{ h}}{1,466 \text{ h}}$$

$$\text{Energi pengukuran KLTS} = 29,272 \text{ Watt hour}$$

Berdasarkan hasil pengukuran pada pengisian panel surya 100 Wp, didapatkan bahwa pengukuran ini dilakukan selama 1,766 jam

$$\text{Waktu pengukuran sel surya 100 Wp (H3)} = 1,766 \text{ h}$$

Maka energi listrik ketika proses pengukuran dapat dihitung menggunakan rumus perbandingan seperti pada persamaan 4.11.

$$\frac{\text{Energi pengukuran KLTS}}{\text{Energi pengukuran sel surya 100 Wp}} = \frac{\text{waktu pengukuran KLTS (H1)}}{\text{waktu pengukuran sel surya(H3)}}$$

$$\text{Energi pengukuran KLTS} = \frac{\text{Energi pengukuran sel surya} \times (H1)}{(H3)}$$

$$\text{Energi pengukuran KLTS} = 70,788 \text{ Watt hour} \times \frac{0,861 \text{ h}}{1,766 \text{ h}}$$

$$\text{Energi pengukuran KLTS} = 34,512 \text{ Watt hour}$$

Motor Dc brushless yang digunakan mempunyai daya 350 Watt, dengan asumsi seperti maka lama energi yang digunakan dapat dihitung melalui persamaan berikut

$$\text{Lifetime energi (t)} = \frac{W \text{ baterai} + W \text{ sel surya } 80 \text{ Wp} + W \text{ sel surya } 100 \text{ Wp}}{P \text{ motor}}$$

$$\text{Lifetime energi (t)} = \frac{(288 + 29,272 + 34,512) \text{ Watt hour}}{350 \text{ Watt}}$$

$$\text{Lifetime energi (t)} = 1,005 \text{ hour}$$

Berdasarkan perhitungan secara teori maka energi yang digunakan akan habis dalam waktu 1,005, hour. Untuk memudahkan analisa maka lifetime energi diubah menjadi satuan menit, sehingga dapat dihitung seperti persamaan berikut

$$\begin{aligned} \text{Lifetime energi (t)} &= 1,005 \text{ hour} \times \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ hour}} \\ &= 60,30 \text{ menit} \end{aligned}$$

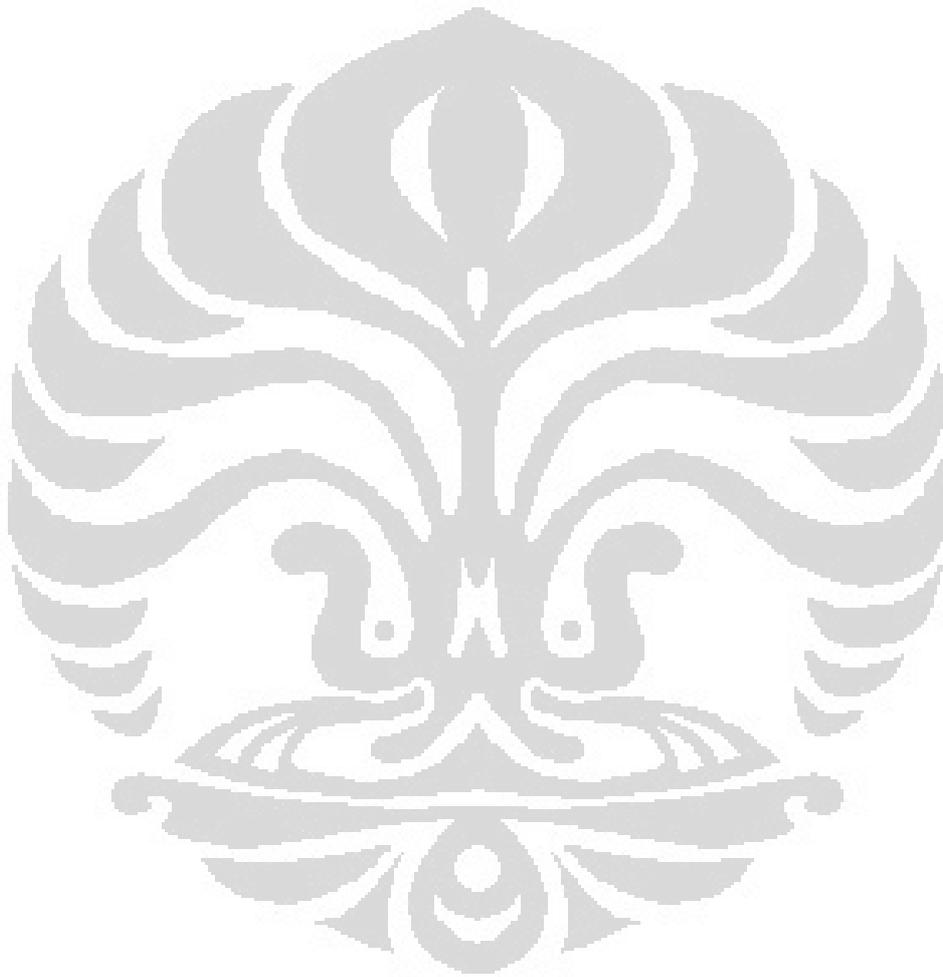
4.6.4 Analisa Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Hasil Perhitungan

Pada hasil perhitungan, untuk menghabiskan 50 % kapasitas baterai maka lifetime energi dari kendaraan listrik akan habis selama 60,30 menit. Pada perhitungan ini asumsi yang dipakai adalah penggunaan daya motor 350 Watt. Perhitungan tidak melibatkan losses yang terjadi pada kabel dan perhitungan juga tidak melibatkan seberapa besar daya yang digunakan oleh controller.

Sedangkan pada hasil pengukuran yang telah dilakukan, untuk menghabiskan 50 % kapasitas baterai maka waktu yang dibutuhkan adalah 51,966 menit. Pada pengukuran tegangan awal dan akhir diukur untuk menunjukkan penurunan tegangan pada jarak tertentu. Perlakuan kendaraan listrik ketika pengukuran akan mempengaruhi daya yang digunakan pada controller. Pada saat pengukuran kendaraan listrik, kendaraan listrik bergerak dengan torsi yang besar sehingga daya awal yang digunakan juga cukup besar. Ketika pengukuran kendaraan listrik juga mengalami perubahan kecepatan sehingga daya total yang digunakan juga akan berbeda. Ketika pedal gas diinjak maka energi pada baterai akan mengalir masuk ke motor sehingga energi yang dihasilkan sel surya tidak mengalir masuk ke baterai. Ketika terjadi penurunan kecepatan yang disebabkan pedal gas tidak diinjak maka energi listrik mengalir masuk ke baterai.

Perbedaan pada proses pengukuran dan perhitungan disebabkan oleh energi yang dihasilkan sel surya menjadi tidak optimal karena energi listrik mengalir tergantung pada perlakuan proses pengukuran pada kendaraan listrik. Ketika kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya berjalan maka energi

yang dihasilkan sel surya akan langsung mengalir ke beban. Namun, ketika kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya mulai berhenti untuk proses pengukuran maka energi listrik akan mengalir masuk ke baterai. Perlakuan pada proses pengukuran inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan hasil pengukuran dan hasil perhitungan. Kemungkinan lain adalah tingkat presisi pengukuran yang dilakukan.



BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa pada data hasil pengukuran, maka dapat disimpulkan bahwa :

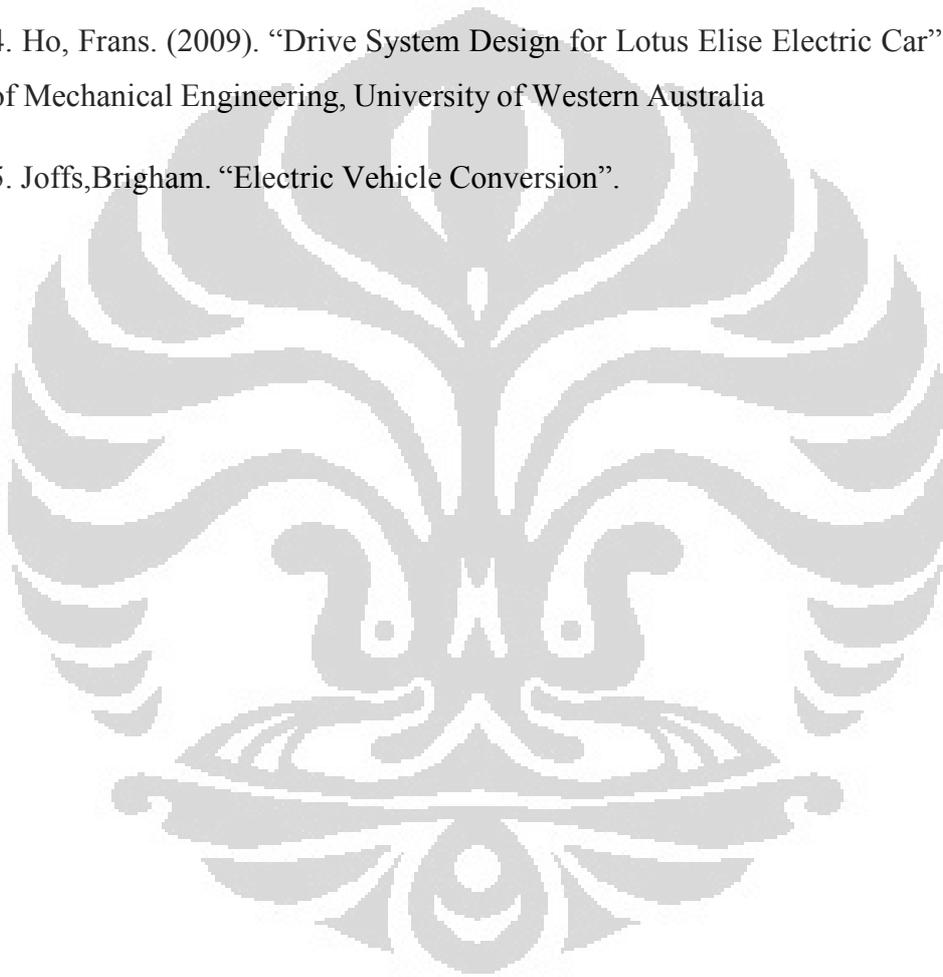
- Kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya dapat menempuh jarak 547,052 meter selama 1 menit pada kecepatan maksimum (9,11 m/s).
- Daya rata-rata yang dihasilkan oleh panel sel surya 80 Wp untuk pengisian satu baterai adalah 37,324 Watt. Sedangkan daya rata-rata yang dihasilkan oleh panel sel surya 100 Wp untuk pengisian 2 baterai adalah 39,327 Watt.
- Lifetime energi kendaraan listrik berdasarkan pengukuran adalah 43,166 menit sedangkan berdasarkan perhitungan adalah 49,371 menit.
- Lifetime energi kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya berdasarkan pengukuran adalah 51,966 menit sedangkan berdasarkan perhitungan 60,30 menit.

DAFTAR ACUAN

- [1]. Abe Dharmawan. (2009) .”Pengendalian Motor Brushless DC Dengan Metode PWM Sinusoidal Menggunakan ATMEGA 16”.Universitas Indonesia
- [2]. Amien Rahardjo,Herlina dan Husni Safruddin. (2008). “Optimalisasi Pemanfaatan Sel Surya pada Bangunan Komersial secara Terintegrasi sebagai Bangunan Hemat Energi”. Seminar Sains Nasional dan Teknologi-II. Fakultas Teknik Uninversitas Indonesia.
- [3]. I.Arsie, M.Marotta, C.Pianese, G.Rizzo, M.Sorrentino. “Optimal Design of a Hybrid Electric Car with Solar Cells”. AUTOCOM Workshop on Preventive and Active Safety Systems for Road Vehicles. University of Salerno, 8404 Fisciano (SA), Italy.
- [4]. Zahari Taha, Rossi Passarella, Jamali Md Sah. “A Review on Energy Management system of Solar Car”. Electrical Engineering University Malaya. Kuala Lumpur, Malaysia.
- [5]. M Andri Zumain. “Prototipe mobil listrik dengan menggunakan motor DC Magnet Permanen 0,37 HP”. Skripsi UI 2009
- [6]. Antono, Djodi. “Motor DC Brushless Tiga Fasa-Satu Kutub”.ORBITH Vol.8 No. 1 Maret 2012: 32:37

DAFTAR REFERENSI

1. AN885 .2003. Microstrip Technology Inc.
2. Erik, Schaltz. “Electrical Vehicle Design and Modeling”. Aalborg. University Denmark
3. Dasar kontrol kecepatan motor <http://www.gruprobot.com/wp-content/uploads/2012/01/motor.jpg>, Diakses 14 April 2012
4. Ho, Frans. (2009). “Drive System Design for Lotus Elise Electric Car”. School of Mechanical Engineering, University of Western Australia
5. Joffs,Brigham. “Electric Vehicle Conversion”.



LAMPIRAN

A. Lampiran Data Pengukuran Pengisian Baterai pada Sel Surya 80 Wp

No	Jam	V (Volt)	I (ampere)
1	13.00	12,01	3,2
2	13.02	12,01	2,9
3	13.04	12,03	3,2
4	13.06	12,04	3,1
5	13.08	12,06	3,1
6	13.10	12,08	2,9
7	13.12	12,09	3
8	13.14	12,11	3
9	13.16	12,12	3
10	13.18	12,14	3,2
11	13.20	12,16	3
12	13.22	12,17	2,9
13	13.24	12,19	2,9
14	13.26	12,2	2,9
15	13.28	12,22	3
16	13.30	12,24	3
17	13.32	12,25	3
18	13.34	12,25	3
19	13.36	12,28	3
20	13.38	12,3	3
21	13.40	12,3	3
22	13.42	12,34	3
23	13.44	12,35	2,8
24	13.46	12,36	2,7
25	13.48	12,38	2,6
26	13.50	12,41	2,5
27	13.52	12,41	2,9
28	13.54	12,42	2,7
29	13.56	12,45	2,7
30	13.58	12,46	2,8
31	14.00	12,49	2,8
32	14.02	12,5	2,8
33	14.04	12,54	2,7
34	14.06	12,58	2,5
35	14.08	12,62	2,4
36	14.10	12,65	2,5
37	14.12	12,7	2
38	14.14	12,74	2,2
39	14.16	12,78	1,8
40	14.18	12,82	1,9
41	14.20	12,87	1,9
42	14.22	12,91	1,8
43	14.24	12,95	1,8
44	14.26	12,99	1,9
45	14.28	13,01	2

B. Lampiran Data Pengukuran Pengisian Baterai pada Sel Surya 100 Wp

No	Jam	V (Volt)	I (ampere)
1	13.00	24	3.7
2	13.02	24.03	3.5
3	13.04	24.05	3.5
4	13.06	24.07	3.5
5	13.08	24.1	3.5
6	13.10	24.13	3.4
7	13.12	24.15	3.2
8	13.14	24.18	3.1
9	13.16	24.2	3
10	13.18	24.22	2.9
11	13.20	24.25	2.9
12	13.22	24.27	2.8
13	13.24	24.3	2.7
14	13.26	24.32	2.6
15	13.28	24.35	2.4
16	13.30	24.37	2.5
17	13.32	24.4	2.5
18	13.34	24.42	2.3
19	13.36	24.45	2.2
20	13.38	24.47	2
21	13.40	24.5	2.1
22	13.42	24.53	1.7
23	13.44	24.55	1.7
24	13.46	24.57	1.8
25	13.48	24.6	2
26	13.50	24.62	1.9
27	13.52	24.65	1.9
28	13.54	24.66	1.7
29	13.56	24.7	1.4
30	13.58	24.72	1.5
31	14.00	24.75	1.4
32	14.02	24.77	1.4
33	14.04	24.8	1.4
34	14.06	24.82	1.2
35	14.08	24.85	1
36	14.10	24.87	0.7
37	14.12	24.9	0.6
38	14.14	24.97	0.4
39	14.16	24.98	0.4
40	14.18	25.01	0.3
41	14.20	25.04	0.3
42	14.22	25.08	0.3
43	14.24	25.13	0.3
44	14.26	25.17	0.2
45	14.28	25.25	0.2
46	14.30	25.25	0.2
47	14.32	25.26	0.2
48	14.34	25.27	0.1
49	14.36	25.28	0.1
50	14.38	25.28	0.1
51	14.40	25.29	0.1
52	14.42	25.29	0.1
53	14.44	25.29	0.1
54	14.46	25.3	0.1

C. Lampiran Data Pengukuran Kendaraan Listrik

No	Jarak (meter)	Waktu (sekon)	Tegangan (Volt)
1	0	0	52,04
2	310	61	51,96
3	260	112	51,89
4	290	169	51,83
5	290	226	51,77
6	260	275	51,68
7	260	326	51,6
8	260	376	51,52
9	260	425	51,43
10	260	476	51,35
11	260	526	51,27
12	260	575	51,18
13	260	626	51,1
14	260	677	51,02
15	260	727	50,94
16	260	778	50,85
17	260	827	50,77
18	260	877	50,69
19	260	927	50,68
20	260	976	50,25
21	260	1026	50,42
22	260	1075	50,35
23	260	1125	50,27
24	260	1175	50,19
25	260	1225	50,11
26	260	1274	50,02
27	260	1325	49,94
28	260	1378	49,86
29	260	1430	49,77
30	260	1482	49,69
31	260	1535	49,61
32	260	1588	49,52
33	260	1640	49,44
34	260	1693	49,36
35	260	1744	49,28
36	260	1796	49,19
37	260	1847	49,11
38	260	1900	49,03
39	260	1952	48,94
40	260	2006	48,87
41	260	2059	48,78
42	260	2113	48,69
43	260	2164	48,61
44	260	2217	48,53
45	260	2270	48,45
46	260	2322	48,36
47	260	2376	48,28
48	260	2429	48,2
49	260	2483	48,11
50	260	2537	48,03
51	260	2590	47,97

D. Lampiran Data Pengukuran Kendaraan listrik dengan menggunakan sel surya

No	Jarak (meter)	Waktu (sekon)	Tegangan (Volt)
1	0	0	52,02
2	310	62	51,9
3	260	114	51,81
4	290	173	51,72
5	290	231	51,63
6	290	289	51,58
7	290	347	51,52
8	260	400	51,44
9	310	462	51,37
10	310	524	51,3
11	260	576	51,22
12	290	635	51,15
13	290	693	51,07
14	290	751	51
15	290	809	50,93
16	260	861	50,85
17	310	924	50,77
18	310	986	50,7
19	260	1038	50,62
20	290	1096	50,55
21	290	1155	50,48
22	290	1213	50,4
23	290	1271	50,33
24	260	1323	50,25
25	310	1386	50,18
26	310	1448	50,1
27	260	1500	50,03
28	290	1558	49,95
29	290	1616	49,88
30	290	1675	49,82
31	290	1733	49,73
32	260	1785	49,67
33	310	1847	49,58
34	310	1910	49,51
35	260	1962	49,43
36	290	2020	49,36
37	290	2078	49,28
38	290	2137	49,21
39	290	2195	49,13
40	260	2247	49,06
41	310	2309	48,99
42	310	2371	48,91
43	260	2424	48,84
44	290	2482	48,76
45	290	2540	48,69
46	290	2598	48,61
47	290	2657	48,54
48	260	2709	48,46
49	310	2771	48,39
50	310	2833	48,32
51	260	2886	48,24
52	290	2944	48,17
53	290	3002	48,09
54	290	3060	48,02
55	290	3118	47,96