

Design and Fabrication of Three Wheeled Electric Drive

Indrawanto^{1,*}, Dewanta Priatama¹ dan Ernest Rudolf Hutaapea¹

¹Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung - Bandung

*Korespondensi: indrawanto@ftmd.itb.ac.id

Abstract. The design of three-wheeled electric motor vehicles for urban vehicles, for the elderly and people with physical limitations has been done. Several major components have been manufactured. The purpose of this study is to introduce light vehicles that are environmentally friendly and can be made with as much as possible using domestically made components. This three-wheeled vehicle has two wheels in front and one at the rear. The choice of two wheel configurations in front and one at the rear is to improve the stability during maneuverability and comfort. The most important part of the design is the front wheel system consisting of suspension system and steering system. The use of electric motors is for environmentally friendly as well as to increase the comfort and the ease of driving and to make life more comfortable for people who experience physical challenges. BLDC electric motors are selected for this design with consideration of efficiency and life time. This tricycle vehicle can be equipped with a cabin to protect the rider from rain or sunshine.

Abstrak. Desain kendaraan listrik beroda tiga untuk kendaraan kota, lansia dan orang dengan disabilitas telah dilakukan. Beberapa komponen utama telah dimanufaktur. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengenalkan kendaraan ringan yang ramah lingkungan dan didesain untuk memiliki komponen yang dapat diproduksi secara domestic. Kendaraan beroda tiga ini memiliki dua roda didepan dan satu roda di belakang. Pemilihan dari konfigurasi dua roda di depan dan satu di belakang dilakukan untuk meningkatkan stabilitas saat maneuver dan kenyamanan. Komponen vital dari desain adalah sistem roda depan yang terdiri dari sistem suspensi dan sistem kendali. Penggunaan motor listrik ditujukan untuk ramah lingkungan, meningkatkan kenyamanan, kemudahan pengendalian, dan memudahkan orang dengan keterbatasan fisik. Motor listrik BLDC dipilih pada desain ini dengan pertimbangan efisiensi dan umur pakai. Kendaraan tiga roda ini dapat dilengkapi dengan kabin untuk melindungi penumpang dari hujan atau sinar matahari.

Kata kunci: kendaraan roda tiga, motor elektrik, steering system, suspension system

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Mobilitas manusia dan barang saat ini semakin lama semakin tinggi. Berdasarkan jajak yang dilakukan Kompas pada Juli 2015, 15% responden Jakarta mengaku jarak dari rumah ke tempat kerja mereka lebih dari 30 km, 24% mengaku jarak dari rumah ke tempat kerja mereka antara 16-30 km, dan 61% responden mengaku jarak dari rumah ke tempat kerja mereka tidak lebih dari 16 km [1]. Karena sarana transportasi publik di Indonesia masih belum memadai baik dari sisi jumlah atau kualitas, sebagian besar masyarakat kota-kota besar di Indonesia lebih memilih menggunakan alat transportasi pribadi. Survei yang dilakukan Jakarta Urban Transport Policy Integration (JUTPI) pada tahun 2011 menunjukkan hanya sekitar 20% komuter yang menggunakan transportasi umum. Moda transportasi yang paling umum digunakan adalah sepeda motor, yang digunakan sekitar 54,1% komuter [2].

Pertumbuhan jumlah sepeda motor pada tahun 2014 mencapai 9.73 % [3]. Angka penjualan sepeda motor di Indonesia mencapai tujuh juta setiap

tahunnya, yang tertinggi di ASEAN [4]. Sepeda motor konvensional saat ini umumnya adalah sepeda motor beroda dua berpenggerak motor bakar. Dengan semakin tinggi jumlah sepeda motor semakin tinggi pula menyumbangkan polusi udara terutama di daerah perkotaan.

Kendaraan roda tiga mirip sepeda motor, saat ini banyak mendapat perhatian karena beberapa keunggulannya dibanding roda dua. Banyak peneliti telah melakukan penelitian meliputi karakteristik dinamik dan pengendaliannya [5-7].

Pada makalah ini disajikan disain kendaraan roda tiga berpenggerak motor listrik untuk digunakan terutama di daerah perkotaan. Pembahasan diawali dengan Kriteria Disain Kendaraan Roda Tiga yang meliputi parameter utama yang dinginkan dan jenis mekanisme kendaraan roda tiga yang dipilih. Pembahasan berikutnya adalah Parameter Disain Kendaraan Roda Tiga yang diperoleh melalui iterasi. Bertikutnya dipaparkan Disain Chassis Kendaraan Roda Tiga yang dikembangkan. Selanjutnya berturut-turut dipaparkan Analisis Statik dan Simulasi Titling untuk melihat kemudahan dan kestabilan kendaraan saat berbelok.

Berikutnya dibahas Pengaruh Tilting pada Kecepatan Ambang *Rollover* untuk mengetahui ambang batas kecepatan saat berbelok dengan radius minimum tanpa mengalami guling. Selanjutnya dipaparkan hasil pemilihan motor penggerak dan jenis baterai serta kapasitasnya. Yang terakhir adalah proses pembuatan dan kesimpulan atas penelitian yang telah dilakukan saat ini.

Kriteria Disain Kendaraan Roda Tiga

Kendaraan roda tiga yang didisain adalah kendaraan bermotor listrik dengan menggunakan roda tiga atau sepeda motor listrik roda tiga. Geometri kendaraan roda tiga secara umum serupa dengan sepeda motor konvensional roda dua. Kendaraan roda tiga ini dikembangkan dikarenakan memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan sepeda motor konvensional roda dua diantaranya adalah: 1. Dapat digunakan oleh difabel tunadaksa. 2. Lebih aman digunakan. 3. Lebih stabil saat penggereman.

Kriteria disain yang digunakan sebagai dasar dalam disain kendaraan roda tiga ini dinyatakan pada Tabel 1 di bawah ini.

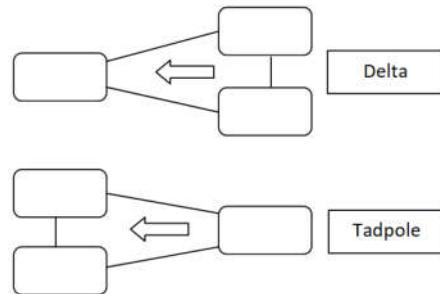
Tabel 1. Kriteria Disain

No	Keharusan	Harapan
1	Menggunakan sebuah motor listrik sebagai penggeraknya dan baterai sebagai sumber daya.	Lebar kendaraan kurang dari 75 cm
2	Memiliki tiga buah roda dan memiliki konfigurasi <i>tadpole</i>	Kecepatan kendaraan sampai 40 km/jam
3	Dapat melakukan <i>tilting</i>	Dapat menempuh jarak sampai 40 km pada kondisi jalan yang bervariasi.
4		Dapat melewati jalan menanjak dengan kemiringan hingga 10%

Mekanisme roda tiga memiliki dua jenis berbeda yaitu berbentuk *delta* dan *tadpole*. Mekanisme *delta* adalah mekanisme roda tiga dengan menggunakan dua roda pada bagian belakang, sementara mekanisme *tadpole* adalah mekanisme roda tiga dengan dua roda berada pada bagian depan. Mekanisme *tadpole* biasa dikenal dengan *triike* terbalik. Gambar 1 menunjukkan mekanisme *delta* dan *tadpole* kendaraan roda tiga.

Kedua mekanisme tersebut memiliki kelebihan masing-masing. Kelebihan dari mekanisme *delta* adalah: 1. Mekanisme ini memiliki *zero turning radius*. 2. Lebih sederhana disain mekanisme system kemudinya. Sedangkan kelebihan dari

mekanisme *tadpole* adalah: 1. Lebih stabil saat berbelok. 2. Daya penggereman lebih tinggi dibandingkan dengan mekanisme *delta*.



Gambar 1. Mekanisme *delta* dan *tadpole*

Kendaraan roda tiga yang didisain pada penelitian ini adalah dengan jenis mekanisme *tadpole*. Pemilihan mekanisme ini dengan pertimbangan penggunaan kendaraan ini ditujukan untuk daerah perkotaan dengan lalulintas padat dan sering terjadi kemacetan serta untuk meningkatkan kenyamanan saat berkendara.

Parameter kendaraan roda tiga yang didisain ditampilkan pada tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Parameter disain

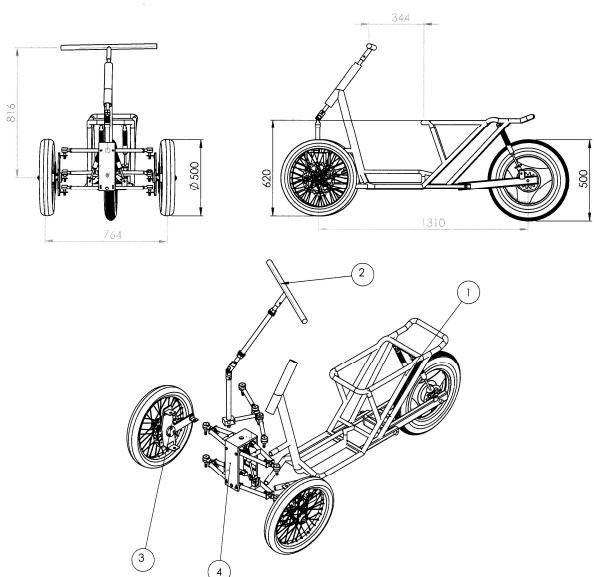
No	Spesifikasi	Besaran
1	Total Massa	250 kg
2	Panjang Total Kendaraan	1310 mm
3	Lebar Total Kendaraan	732 mm
4	Jarak ke batang pembelok kanan	35 mm
5	Jarak ke batang pembelok kiri	35 mm
6	Jarak sumbu setir ke pemutar	200 mm
7	Panjang batang pembelok	181 mm
8	Jarak Roda Depan Pusat Massa	552 mm
9	Jarak Roda Belakang Pusat Massa	897 mm
10	Jarak Pusat Massa ke tanah	250 mm
11	<i>Sprung Mass</i>	235 kg
12	<i>Unsprung Mass</i> untuk tiap roda	15 kg
13	Momen Inersia I_Z	97 kg.m ²
14	Kekakuan camber FW	25000 N/rad
15	Kekakuan camber RW	40000 N/rad
16	Kekakuan belok FW	25000 N/rad
17	Kekakuan belok RW	40000 N/rad
18	Jari-jari roda	250 mm
19	Kekakuan vertikal FW	230000 N/m
20	Kekakuan vertikal RW	230000 N/m
21	Kekakuan pegas depan	12000 N/m
22	Kekakuan pegas belakang	16000 N/m
23	Koefisien Redaman depan	1200 N.s/m
24	Koefisien redaman belakang	2000 N.s/m

25	Momen inersia massa I_x	21.99 kg.m ²
26	Momen inersia massa I_y	95.95 kg.m ²
27	Koefisien gesek roda-jalan	0.9

Parameter disain di atas diperoleh melalui iterasi dengan mempertimbangkan masalah kinematik dan dinamik kendaraan yang dirancang [8].

Disain Chassis Kendaraan Roda Tiga

Disain chassis kendaraan roda yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini. Chassis kendaraan dirancang dengan menggunakan *tubular steel* dengan sambungan las.



Gambar 2. Disain chassis kendaraan roda tiga

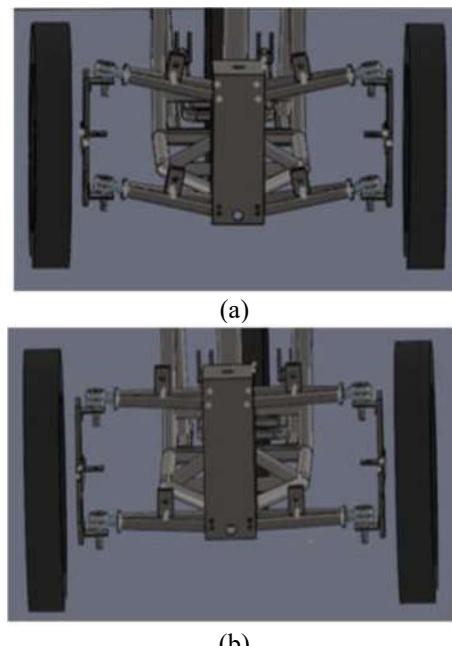
Analisis Statik

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kekakuan pegas menahan beban kendaraan pada kondisi statik. Perbandingan penggunaan pegas dengan kekakuan dan defleksi awal yang memadai dan yang tidak memadai ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3a menunjukkan pegas dengan kekakuan yang kurang memadai. Pegas dengan kekakuan rendah dan defleksi awal yang besar menyulitkan pengemudi ketika akan melakukan gerakan tilting. Hal ini dikarenakan adanya sudut yang terbentuk pada *ball joint* di awal sebelum adanya input pengemudi untuk melakukan tilting. Adanya sudut ini mengurangi sudut tilting yang dapat dicapai oleh kendaraan. Gambar 3b menunjukkan kekakuan pegas yang memadai.

Untuk memilih pegas yang cocok untuk kendaraan ini telah dilakukan simulasi dengan memvariasikan nilai kekakuan pegas dan defleksi awal hingga didapat nilai kekakuan yang memenuhi syarat. Untuk memilih kekakuan pegas ini dilakukan dengan dua langkah, pertama adalah

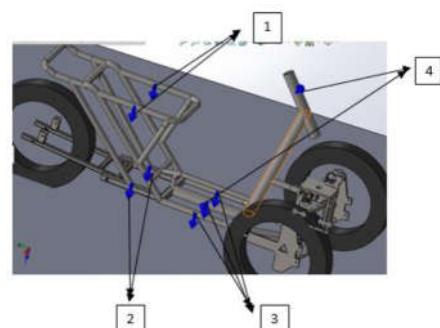
pemeriksaan defleksi awal saat kendaraan dalam keadaan statik seperti pada Gambar 3, lalu setelah itu dilakukan simulasi *tilting* untuk memperkirakan sudut *tilting* yang mungkin akan terjadi dengan kekakuan pegas tersebut.



Gambar 3. Kekakuan pegas tidak memadai (a) dan kekakuan pegas memadai (b)

Simulasi Tilting

Nilai kekakuan pegas dari analisis statik di atas selanjutnya digunakan untuk melakukan simulasi *tilting*. Simulasi ini dimaksudkan untuk memeriksa apakah *tilting* maksimum dapat terjadi, yaitu saat salah satu *ball joint* pada sistem suspensi roda depan membentuk sudut sampai 28°. Pada simulasi ini, distribusi berat pengemudi diasumsikan 90% pada arah *tilting* sepeda motor dan pengemudi memberikan gaya sebesar 30 N tegak lurus arah penampang batang pada bagian setir rangka belakang. Dengan menggunakan asumsi ini, diharapkan pengemudi tidak mengalami kesulitan yang berarti saat ingin melakukan *tilting*. Model kendaraan roda tiga beserta gaya-gaya yang bekerja ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Gaya-gaya yang bekerja saat *tilting*.

Gaya-gaya yang ditunjukkan oleh nomor 1 pada Gambar 3 mewakili gaya berat pengemudi dan chassis. Gaya-gaya nomor 2 dan 3 masing-masing menunjukkan berat motor listrik dan baterai, sedangkan gaya-gaya pada nomor 4 adalah gaya-gaya yang diberikan pengemudi pada kendaraan. Gambar 5 adalah hasil simulasi akhir *tilting*.



Gambar 5. Hasil simulasi *tilting* kendaraan roda tiga

Setelah dilakukan beberapa kali iterasi akhirnya didapatkanlah konstanta kekakuan pegas yang dapat memenuhi syarat defleksi awal dan nilai Ω . Nilai Ω adalah adalah fungsi A dan B pada Gambar 5 yang mana $\Omega = \arctan(B/A)$. Dari simulasi tersebut, nilai kekakuan pegas yang memenuhi adalah 31 N/mm dengan defleksi awal 47 mm. Defleksi maksimal hasil simulasi adalah 90 mm dengan sudut *tilting* yang diperkirakan dapat dicapai adalah 14,5° dan sudut pada *ball joint* yang terjadi adalah 28°.

Pengaruh *Tilting* pada Kecepatan Ambang *Rollover*

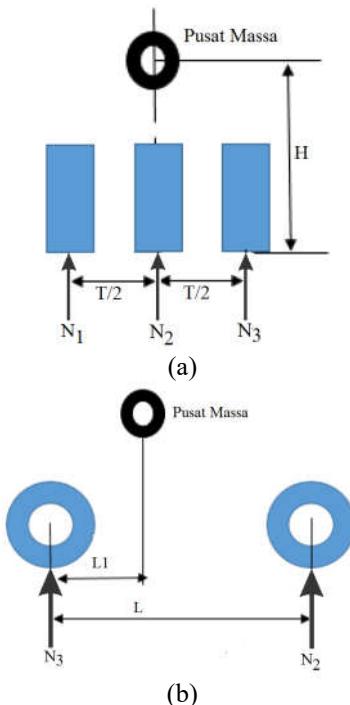
Fitur *tilting* pada kendaraan roda tiga digunakan untuk meningkatkan kecepatan ambang *rollover* kendaraan saat berbelok. Perhitungan kecepatan ambang *rollover* membutuhkan beberapa parameter yang akan digunakan pada perhitungan tersebut. Nilai-nilai L_1 , H , L , R , T , dan θ harus diketahui terlebih dahulu. Nilai L_1 , H , dan R didapatkan dari hasil analisis kinematika yang dilakukan oleh Dewanta[18]. Nilai θ didapatkan dari hasil simulasi pada perangkat lunak Solidworks. Nilai-nilai tersebut dinyatakan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Parameter perhitungan ambang *rollover*

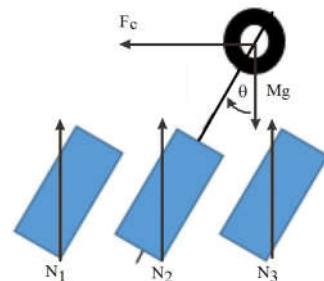
Parameter	Nilai
L_1 = jarak roda belakang ke pusat massa	897 mm
H = jarak pusat massa ke tanah	250 mm
L = panjang total kendaraan	1320 mm
R = radius belok	2 m
$T/2$ = Setengah jarak roda depan	375 mm
θ = sudut <i>tilting</i>	14,5°

Terjadinya *rollover* pada kendaraan yang didisain ditentukan oleh besarnya gaya sentrifugal

pada kendaraan saat berbelok. Saat kendaraan berjalan maju lurus maka konfigurasi roda dilihat dari depan seperti ditunjukkan pada Gambar 5 (a) dan pada Gambar 5 (b) konfigurasi roda kendaraan dilihat dari samping.



Gambar 5. Orientasi roda dan gaya normal saat bergerak lurus yang mana N_1 , N_2 , N_3 adalah gaya normal roda depan kanan, belakang, depan kiri.



Gambar 6. Orientasi roda dan gaya saat *tilting*

Saat kendaraan berbelok maka akan terjadi *tilting* seperti ditunjukkan pada gambar 6. Dengan asumsi N_3 nol saat berbelok dan analisis dilakukan terhadap momen pada titik N_1 , maka besarnya gaya sentrifugal F_c dapat dihitung pada dengan Pers. 1 sd 3 di bawah ini:

$$\sum M_c = 0 \quad (1)$$

$$0 = F_c \cdot H \cos \theta - Mg \left(\frac{T}{2} + H \sin \theta \right) + N_2 \frac{T}{2} \quad (2)$$

$$F_c = \frac{Mg \left(\frac{T}{2} + H \sin \theta \right) - N_2 \frac{T}{2}}{H \cos \theta} \quad (3)$$

dimana

F_c : gaya sentrifugal

M_c : Momen pada pusat massa

M : massa total sepeda motor

- H : tinggi pusat massa
 θ : sudut *tilting*
 T : jarak antara pusat dua roda depan
 N_2 : gaya normal roda belakang
 g : percepatan gravitasi

Dari kesetimbangan momen N_2 dapat dinyatakan dengan Pers. (4)

$$N_2 = \frac{MgL_1}{L} \quad (4)$$

dan gaya centrifugal dapat dinyatakan dengan Pers. (5)

$$F_c = \frac{MV^2}{R} \quad (5)$$

yang mana V adalah kecepatan tangensial kendaraan.

Dengan mesubstitusikan Pers. 3 dan 4 ke Pers. 5 didapat Pers 5 untuk menghitung kecepatan maksimum V kendaraan roda tiga ini tanpa mengalami *rollover* (terguling).

$$V = \frac{RT(1 - \frac{L_1}{L}) + 2RH\sin\theta}{2H\cos\theta} \quad (6)$$

Dengan memasukkan nilai-nilai dari tabel 3 pada pers. 6 maka didapat kecepatan maksimum saat belok tanpa terjadi *rollover* adalah $V = 18$ km/jam pada radius 2 m.

Motor listrik yang dipilih sebagai penggerak adalah jenis BLDC yang dipasangkan pada roda belakang. Pemilihan motor BLDC karena memiliki torsi yang besar untuk geometri yang kecil dan tidak diperlukan banyak pemeliharaan. Daya motor yang diperlukan dengan assumsi motor digunakan pada jalan menanjak dengan kemiringan 10% pada kecepatan 25 km/jam adalah 6 kW [9].

Baterai yang dipilih untuk penyimpanan daya adalah jenis Lithium Polymer karena baterai ini memiliki kerapatan daya tertinggi dan mampu mengeluarkan arus sesaat yang besar. Kapasitas baterai yang diperlukan untuk jarak tempuh 40 km adalah sekitar 10 kWh.

Beberapa komponen terutama sistem kemudi dan suspensi roda depan saat ini telah berhasil dibuat. Material utama untuk pembuatan tersebut adalah plat baja, poros baja dan pipa baja. Proses pembuatan meliputi proses pemesinan untuk plat baja dan poros sedangkan untuk pipa baja proses utamanya adalah tekuk dan proses penyambungan dengan las. Untuk pengelasan chassis ini digunakan las MIG.

Kesimpulan

Dari penelitian ini telah berhasil didisain kendaraan roda tiga tipe *tadpole* dengan penggerak motor listrik. Kendaraan dirancang untuk mampu bergerak pada kecepatan 40 km/jam pada jalan

datar, 25 km/jam pada jalan menanjak dengan kemiringan 10%. Kendaraan dirancang dapat berputar dengan kecepatan 18 km/jam pada radius 2 m tanpa mengalami *rollover* dan dapat menempuh jelajah 40 km untuk sekali pengisian baterai.

Saat ini sedang dilakukan proses pembuatan chassis lengkap dan diharapkan dapat segera diselesaikan dan dilakukan pengujian kendaraan yang didisain ini.

Referensi

- [1] Ganie, Pelaju dan Sepeda Motor, (Online), Juli 2015 (<http://print.kompas.com/baca/2015/07/14/Pelaju-dan-Sepeda-Motor>, diakses 15 Juli 2017).
- [2] The Coordinating Ministry of Economic Affairs, JABODETABEK Urban Transportation Policy Integration Project in the Republic of Indonesia, Jakarta, 2012.
- [3] BPS, (online), Desember 2015, (<https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1413>, diakses 1 Februari 2017)
- [4] Kemenperin, Berita Industri, (Online), 14 April 2014 (<http://www.kemenperin.go.id/artikel/8960/Penjualan-Motor-Belum-Capai-Titik-Jenuh>, diakses 15 Agustus 2017).
- [5] Berote, J. A. Van Poelgeest, dan J. Darling, 2008, 'The Dynamics of a Three Wheeled Narrow-Track Tilting Vehicle', *FISITA World Automotive Congress*, Munich, Germany.
- [6] Auguste van Poelgeest, 'The Dynamics and Control of a Three-Wheeled Tilting Vehicle', A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy University of Bath Department of Mechanical Engineering, January 2011
- [7] Jubin Antony J and Jayabal K, 'Rollover Dynamics of a Narrow Tilting Three-Wheeled Vehicle', MATEC Web of Conferences 51, 01002 (2016)
- [8] Dewanta Priatama, Analisis Ergonomi, Kinematika dan Sistem Kelistrikan Sepeda Motor Listrik Roda Tiga, Tugas Sarjana, Teknik Mesin FTMD ITB, Bandung, 2017.
- [9] Hutapea, Ernest. 'Perancangan dan Pemilihan Motor Listrik dan Baterai Sepeda Listrik Roda tiga', Tugas Sarjana, Teknik Mesin FTMD ITB, 2017