

PERANCANGAN CHASSIS TYPE TUBULAR SPACE FRAME UNTUK KENDARAAN LISTRIK

Tito Shantika, Eka Taufiq Firmansjah dan Ilham Naufan

Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung

Jl. PHH Mustofa no.23 Bandung,

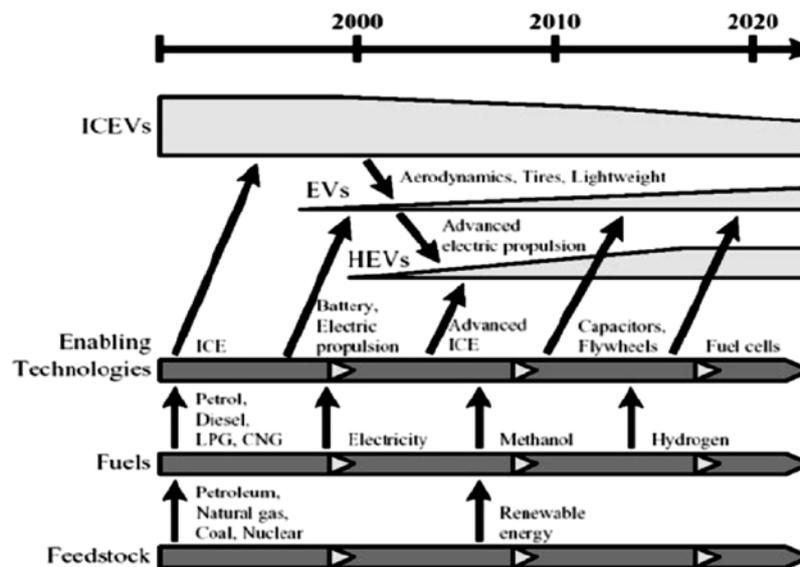
e-mail: tshantika@itenas.ac.id

Abstract: Vehicle is the important think to get the better live for peoples of sociaty. Currently the development of vehicles is increasing rapidly, especially vehicles that use friendly energy for enviroment such as electrical energy. The electric vehicles have been used for commercial cars as well as for competitions. The race vehicle is required to develop new technologies in the particular vehicle. The electrical Vehicle Researces has been carried out include the systems such as drive train, Cassis, frame, batee, system control etc, however in this paper will be discuss design of electric vehicles Frame for Competition. The proces design will be accordance with the rules competition, there is dimensions, weight, power of vehicle etc. the vehicle specification requirement will be created concept design, then embodiment design and detail design, theres will be figure out the strength and ergonomics frames to satisfy the safety criteria. Results of design obtained dimensions of frame 1800x800x1000 mm, 35.7 kg of weight, and material frame JIS G 3445 STKM 11 is obtained for static load load while stress of maximum impact load is 91.6 Mpa, deflection 0.61 mm and safety factor 2, 1.

Keywords : Electical Vehicle, chassis, tubular space frame, frame.

PENDAHULUAN

Kendaraan merupakan sarana transportasi yang sangat penting penggunaannya pada saat ini. Perkembangan kendaraan saat ini begitu pesat dengan digunakannya beberapa alternatif energi untuk menghasilkan daya pada kendaraan tersebut. Kendaraaan dengan menggunakan energi listrik mengalami perkembangan yang cukup besar dimana semakin beralihnya kendaraan dengan sumber energi yang menggunakan *Ignition Combustion Engine Vehicle* (ICEVs) menjadi kendaraan dengan menggunakan energi listrik atau *electric vehicle* (EVs) seperti pada Gambar 1 [1].



Gambar 1. Tren perkembangan EVs dan HEVs[1]

Perkembangan kendaraan listrik akan sangat pesat dengan adanya kompetisi untuk membuat kendaraan yang layak dipasarkan. Salah satu kompetisi yang diadakan di Indonesia yaitu Kontes Mobil Listrik Indonesia yang merupakan kompetisi tingkat mahasiswa. Sehingga perlu adanya rancang bangun kendaraan listrik yang dapat digunakan dalam ajang tersebut.

Kendaraan listrik diperlukan rancang bangun beberapa komponen pada kendaraan listrik tersebut, seperti *chassis*, suspensi, *drive train*, sistem kontrol dan sebagainya. Salah satu komponen yang sangat penting adalah *chassis* yang dibutuhkan untuk menopang sebuah beban yang bekerja pada kendaraan. Sehingga tujuan penelitian ini yaitu merancang *chassis/frame* kendaraan listrik perancangan yang dipergunakan untuk lomba/kompetisi. *Chassis* yang akan dirancang merupakan jenis *tubular space frame* karena menurut Keith, (2009) *chassis* tersebut mempunyai kekuatan luluhnya sangat bagus terutama pada sifat kekakuan torsional, ketahanan beban berat, dan beban impak [2].

Chassis Kendaraan

Chassis kendaraan merupakan rangka yang berfungsi sebagai penopang berat kendaraan, mesin penumpang, serta beban-beban lain. Biasanya *chassis* terbuat dari kerangka baja yang memegang *body* dan *engine* dari sebuah kendaraan. Saat proses manufaktur *body* kendaraan dibentuk sesuai dengan struktur *chassis*-nya. *Chassis* mobil biasanya terbuat dari logam atau pun komposit. Material tersebut harus memiliki kekuatan untuk menopang beban dari kendaraan. *Chassis* juga berfungsi untuk menjaga agar mobil tetap *rigid* atau kaku dan tidak mengalami *bending* menurut Fadila (2012)[3].

Ada beberapa jenis *chassis* tergantung pada jenis kendaraan dan kegunaannya. Tentunya masing-masing tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan. Jenis-jenis *chassis* diantaranya adalah: *Ladder frame* yaitu dua batangan panjang yang menyokong kendaraan dan menyediakan dukungan yang kuat dari berat beban dan umumnya berdasarkan desain angkut [3]. *Tubular space frame* adalah *chassis* terbaik yang kekuatan luluhnya sangat bagus di perlindungan kekakuan torsional, ketahanan beban berat, dan beban impak. *Monocoque* merupakan satu kesatuan struktur *chassis* dari bentuk kendaraannya sehingga *chassis* ini memiliki bentuk yang beragam yang menyesuaikan dengan *body* mobil. *Aluminium space frame Aluminium Chassis Frame* dibuat untuk menggantikan *chassis* baja *monocoque* karena untuk menghasilkan sebuah rangka yang ringan [3].

Menurut Andersson (2009) bahan yang paling banyak digunakan untuk *chassis* terutama jenis *tubular space frame* adalah jenis baja karena kuat, tangguh, mudah dibentuk dan murah. Salah satu jenis yang umum digunakan baja adalah baja ringan, yang memiliki kadar karbon rendah dan relatif lunak, mudah diproses dan murah [4]. Alternatif material yang lain yang populer untuk baja ringan adalah CrMo-4130, yang memiliki sifat kekuatan yang lebih baik, meskipun lebih rumit untuk memproduksinya. Kelebihan menggunakan baja adalah material tersebut sangat kuat dan tahan lama, sedangkan kekurangan adalah relatif berat dan tidak tahan karat seperti menurut Revserve (2013) [5].

Regulasi Kendaraan

Spesifikasi mobil yang dirancang harus sesuai dengan regulasi Kontes Mobil Listrik Indonesia dimana dimensi lebar mobil listrik adalah antara 120 s.d 140 cm, berat minimum mobil dan pengemudi adalah 170 kg, daya total motor maksimum yang diijinkan 2 kW. Dan untuk memenuhi faktor keselamatan saat berjalannya lomba berlangsung, mobil harus memiliki *rollbar* yang lebih tinggi minimal 5 cm dari helm pengemudi, serta spesifikasi *rollbar* adalah besi pipa berdiameter minimal 1 inc dengan ketebalan minimal 2 mm [6].

Tegangan pada Struktur

Tegangan adalah reaksi yang timbul pada suatu struktur yang mengalami pembebanan, dimana beban tersebut akan diteruskan ke semua bagian struktur. Menurut jenis pembebanan yang diberikan tegangan diklasifikasikan menjadi dua yaitu tegangan Normal dan tegangan Geser. Tegangan Normal adalah besar gaya tarik/tekan dibagi dengan luas penampang suatu benda. Tegangan tarik termasuk gaya persatuan luas. Tegangan geser, didefinisikan sebagai komponen tegangan dengan penampang melintang sebuah benda. Tegangan geser timbul dari gaya paralel ke

penampang melintang tegangan normal, disisi lain, muncul dari komponen *vector* gaya tegak lurus dari penampang melintang bahan.

Faktor Keamanan

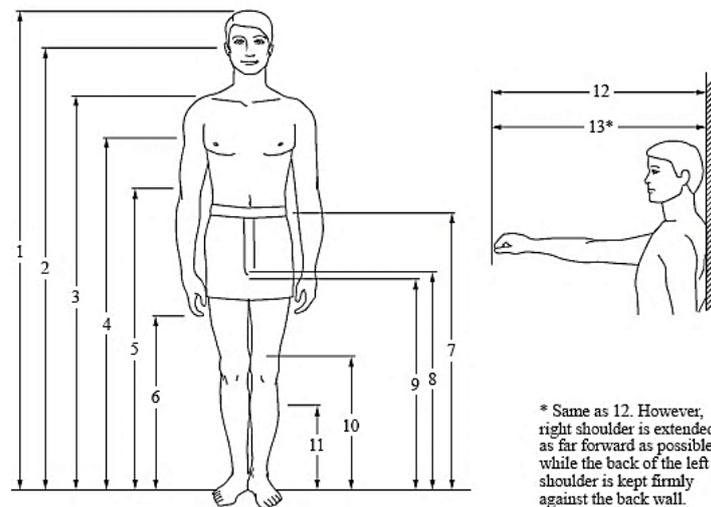
Faktor keamanan (*Safety of factor*) merupakan faktor yang diberikan kepada suatu desain konstruksi sebagai jaminan dalam proses desain. Harga Faktor keamanan yang diberikan harus lebih besar dari 1 (satu). Faktor keamanan didapatkan dari perbandingan tegangan Luluh (*yield Strength*) suatu material dengan tegangan yang terjadi (*Actual Strength*) pada suatu desain konstruksi tersebut. Menurut Dobrovolsky V., (1988) faktor keamanan diberikan kepada suatu desain biasanya berdasarkan jenis pembebanan yaitu Pembebanan Statis: 1,25 – 2, Pembebanan Dinamis : 2 – 3 dan Pembebanan Kejut : 3 – 5 [7].

$$\text{Factor of Safety} = \frac{\text{Yield Strength } (\sigma_y)}{\text{Actual Strength } (\sigma_{actual})} \quad (1)$$

Ergonomi

Ergonomi adalah ilmu yang mempelajari mengenai sifat dan keterbatasan manusia yang digunakan untuk merancang sistem kerja, sehingga sistem tersebut dapat bekerja dengan baik. Dapat pula dikatakan bahwa aplikasi ilmu ergonomi adalah membentuk kondisi yang efektif, aman, sehat, nyaman dan efisien.

Ergonomi tidak terbatas hanya pada rancangan kursi yang baik atau meja yang ergonomis saja, melainkan jauh lebih luas, yakni merancang metode, alat dan sistem kerja sesuai dengan manusianya (pekerja) atau dikenal dengan istilah *Human Centered Design*. Karena manusia lahir dalam bentuk dan ukuran, adalah penting bahwa data antropometrik memberikan berbagai dimensi. Langkah-langkah dari manusia baik dipresentasikan sebagai distribusi normal, Ulman (2010). Data antropometri khas diberikan standar MIL - STD (Standar Militer) 1472F yang ditunjukkan pada Gambar 2 [8].



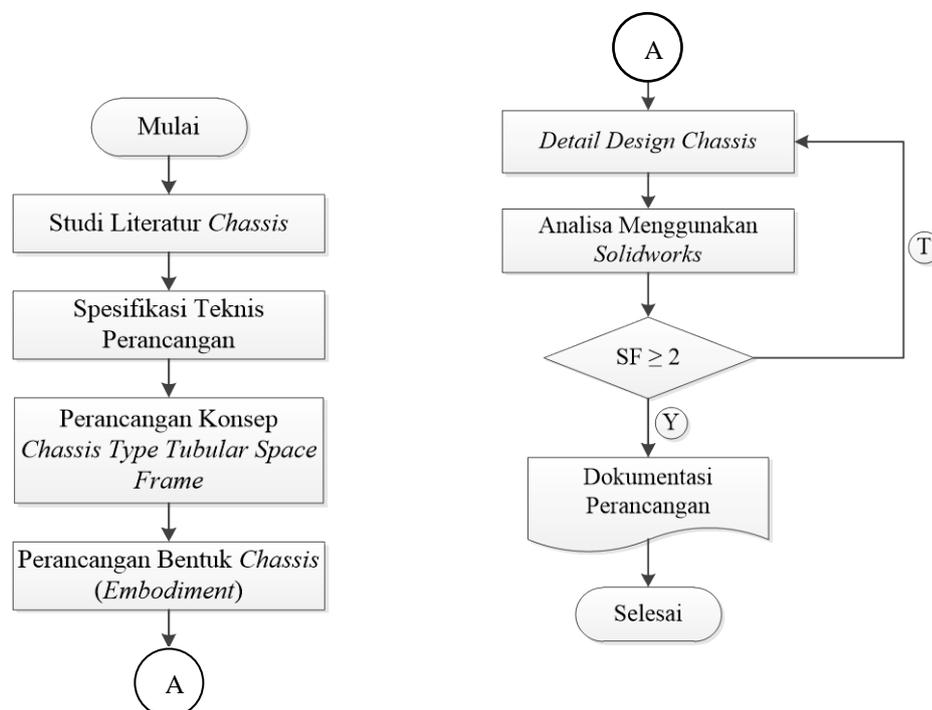
Gambar 2. Standar ukuran manusia (MIL-STD1472D) [8]

Perancangan *chassis* kendaraan dengan metode numerik bukan hal baru, beberapa peneliti banyak menggunakan alat analisis dengan menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) untuk mendapatkan desain yang baik, seperti Kiran Ghodvinde & S. R. Wankhade, (2014) telah merancang *chassis Chevy truck* menggunakan perangkat lunak *stress analysis Ansys* untuk mendapatkan *critical stress* pada *chassis* tersebut. Pada *chassis* tersebut, *chassis* menunjukkan tegangan kritis pada sambungan dan berkurang tegangannya pada sisi yang lebih tebal, ketebalan

plat sambungan dan panjang sambungan plat yang bervariasi. Hasil numerik menunjukkan bahwa tegangan pada elemen *damping chassis* dapat dikurangi dengan meningkatkan ketebalan di area sisi tersebut [9].

METODE PENELITIAN

Perancangan dimulai dengan memahami regulasi mengenai spesifikasi kendaraan listrik selanjutnya ditentukan spesifikasi perancangan *chassis* kendaraan. Langkah selanjutnya membuat konsep *chassis* yang akan merujuk seperti pada teori Pahl & Beitz (1984) [10], dimana pada tahap ini mencari beberapa alternatif konsep kemudian dinilai dan dipilih menjadi satu konsep terbaik. Konsep terpilih akan diwujudkan dalam perancangan bentuk (*Embodiment design*) dimana telah mempertimbangkan menempatkan beberapa komponen yang ditopang oleh *chassis*, kemudian perancangan detail (*detail design*) *chassis* untuk menentukan dimensi maupun material dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks*. Hasil Perancangan harus memenuhi kriteria dimana $sf \geq 2$. Proses selanjutnya gambar pembuatan gambar teknik untuk dapat difabrikasi.



Gambar 3. Diagram alir proses perancangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

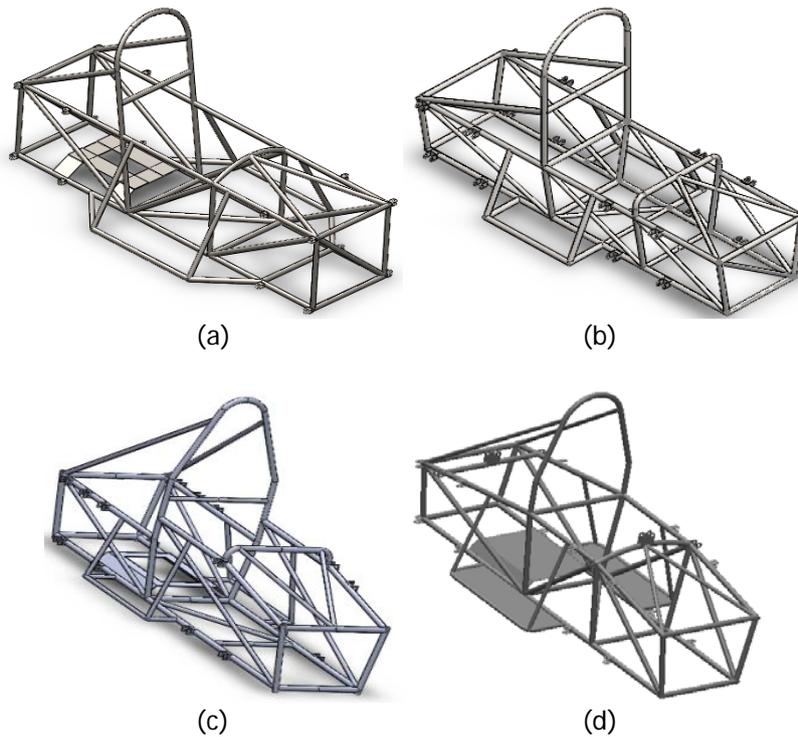
Spesifikasi Perancangan

Spesifikasi perancangan *chassis* mobil listrik ini mengikuti regulasi perlombaan dan target yang akan dicapai dalam proses perancangan. Regulasi perlombaan yang dipakai adalah untuk perlombaan Kontes Mobil Listrik Indonesia. Spesifikasi perancangan adalah sebagai berikut:

Dimensi lebar	: 120-140 cm
Lebar maksimum kendaraan	: 1300 mm
Massa Minimum	: 170 kg
Daya Motor	: Maksimum 2 kW
Ukuran <i>rollbar</i>	: 5 cm di atas helm
<i>Wheelbase</i>	: 1100 mm
Suspensi	: Menggunakan 4 buah suspensi absorber
Kecepatan Maksimum	: 60 km/jam

Perancangan Konsep *Chassis*

Perancangan konsep *chassis* meliputi membuat sketsa *chassis* yaitu membuat skets *chassis* yang akan dirancang, kemudian proses pengukuran *layout* dimensi *chassis* yang akan dirancang dengan mengukur pengemudi saat berada pada kabin kendaraan agar memiliki *ergonomi* yang baik. Terdapat beberapa konsep varian *chassis* yang memungkinkan untuk direalisasikan seperti pada Gambar 4, namun perlu penilaian dengan pendekatan kualitatif seperti teori Pahl & Beitz (1984)[10], beberapa gambar konsep Gambar 4 kemudian dievaluasi dengan menggunakan tabel sesuai dengan kriteria evaluasi yang dilakukan seperti pada Tabel 1 di bawah untuk dapat dilakukan pemilihan konsep secara terukur.



Gambar 4. Beberapa konsep varian *chassis*

Kriteria evaluasi dapat dilihat dari kemudahan memperoleh bahan, kemudahan pembuatan, jumlah komponen sedikit, ringan dan sebagainya maka dari hasil evaluasi berdasarkan bobot kriteria (OWV) konsep, maka dapat dipilih konsep pada varian 4 terlihat pada Tabel 1.

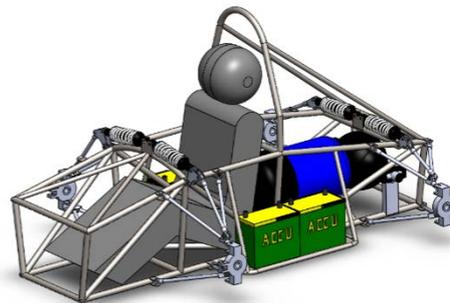
Tabel 1. Evaluasi Konsep

No	Kriteria Evaluasi	Bobot (W)	Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Konsep 4	
			W	VW	W	VW	W	VW	W	VW
1	Kemudahan memperoleh bahan	0,1	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5
2	Kemudahan dibuat	0,15	5	0,75	4	0,6	4	0,6	4	0,6
3	Jumlah komponen sedikit	0,1	4	0,4	3	0,3	5	0,5	5	0,5
4	Mudah dirakit	0,15	5	0,75	4	0,6	3	0,45	5	0,75
5	Ringan	0,2	3	0,6	4	0,8	5	1	5	1
6	Dimensi	0,1	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5
7	Aman	0,2	5	1	5	1	5	1	5	1
ΣOWV				4,5		4,3		4,55		4,85

Perancangan Bentuk *Chassis*

Perancangan bentuk *chassis* merupakan perancangan bentuk *chassis* dengan mempertimbangkan komponen-komponen yang terkait pada *chassis* tersebut, bentuk, berat maupun

ukuran komponen yang ditopang oleh chassis dapat diperkirakan sesuai dengan kebutuhan kendaraan listrik, seperti baterai, suspensi, pengendara, motor listrik dan diferensial *gear*. Dari perancangan bentuk ini menghasilkan perkiraan ukuran maupun *layout chassis* yang memungkinkan untuk dapat di analisis sehingga mendapatkan ukuran sesungguhnya. *Layout* beberapa komponen yang ditopang oleh *chassis* dapat dilihat pada Gambar 5.



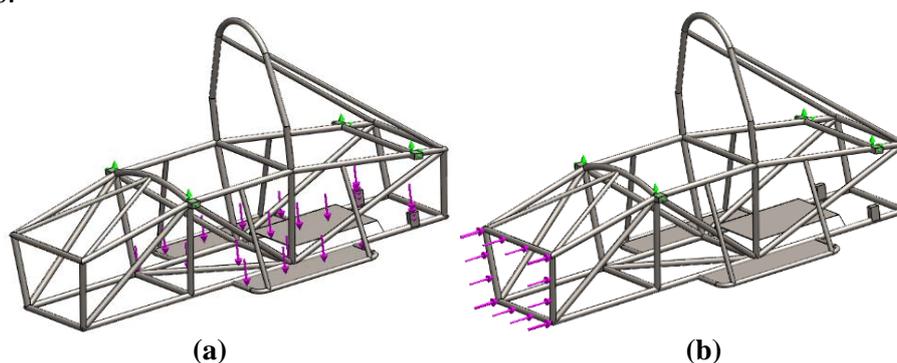
Gambar 5. Hasil perancangan bentuk *Chassis*

Perancangan Detail *Chassis* Menggunakan Perangkat Lunak

Perancangan detail merupakan perancangan untuk mendapatkan ukuran, dimensi dan material yang digunakan untuk fabrikasi. Perancangan detail *chassis* akan menggunakan perangkat lunak *Solid Works*, dimulai dengan membuat model analisis, kemudian proses *meshing* dan penentuan parameter beban-beban pada *chassis* dimana terdapat beban statis dan beban benturan. Langkah selanjutnya proses analisis tegangan untuk mendapatkan karakteristik *chassis* jika diberikan beban statis dan benturan tersebut. Pada proses analisis tegangan dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan *safety factor* kurang dari 2.

Pembebanan dan Tumpuan

Beban-beban yang terjadi pada *chassis* antara lain beban statik diantaranya berat pengemudi sebesar 491 N, berat baterai 196,2 N, berat motor listrik 274,7 N dan berat diferensial *gear* belakang sebesar 196,2 N, sedangkan untuk beban tumbukan yang terjadi diasumsikan terjadi pada 60 km/jam, dengan berat total kendaraan dan pengemudi 170 kg serta waktu saat bertumbukan yaitu 1 detik sebesar 2.822 N. Tumpuan pada *chassis* berada pada *mounting upper arm* pada suspensi kendaraan dengan jenis tumpuan *fix* pada ke-empat suspensi kendaraan tersebut, seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Beban dan Tumpuan (a) Beban berat komponen, (b) Beban tumbukan

Hasil dari perancangan bentuk dapat diambil ukuran sementara yaitu panjang 1800 mm, lebar 800 mm dan tinggi 1000 mm, dengan material pipa berdiameter 25,4 dengan tebal 1,4 dan *rollbar* 2 mm. Jenis material yang dipakai JIS G 3445 dengan spesifikasi STKM 11. Material tersebut mempunyai sifat mekanik *Yield strength* = $1,92 \times 10^8$ N/m², *Tensile strength* = $2,97 \times 10^8$ N/m², *Elastic modulus* = 2×10^{11} N/m², *Poisson's ratio* = 0,29, *Mass density* = 7.870 kg/m³ dan *Shear modulus* = 8×10^{10} N/m².

Dari data-data diatas maka proses analisis tegangan dapat dilakukan dengan perangkat lunak. Proses *meshing* pada pemodelan menggunakan *software SolidWorks*. Jenis *mesh* yang digunakan untuk *stress analysis* yaitu *Beam Mesh* dengan total 10.497 *nodes* dan total elemen 10.138 *nodes*.

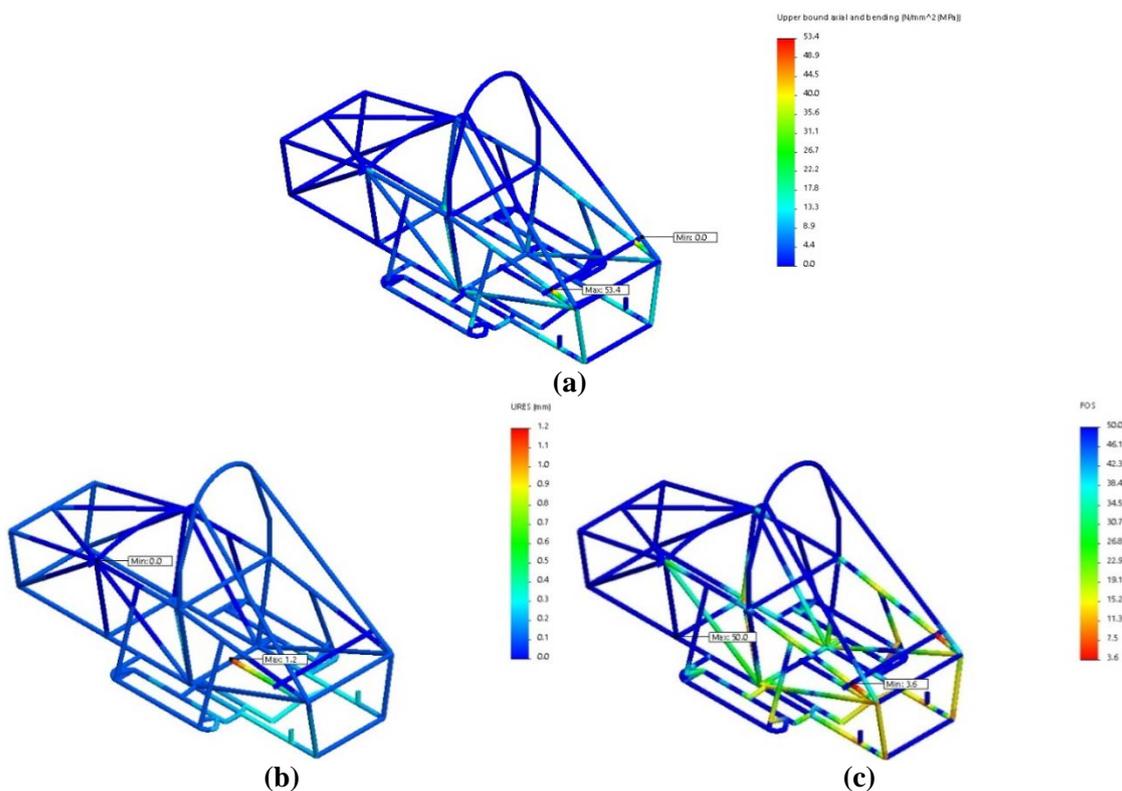
Stress Analysis Chassis untuk Beban Statik

Hasil *Stress Analysis* didapatkan karakteristik *chassis* dengan pembebanan seperti yang telah dijelaskan diatas, seperti tegangan maksimum, defleksi maksimum dan *safety factor*.

Tegangan maksimum pada *chassis* dengan material JIS G 3445 adalah 53,4 N/mm² (Mpa) pada element 5187 atau terletak pada posisi pengelasan *mounting* suspensi (tumpuan). Sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0 N/mm² (Mpa) pada element 636, seperti terlihat pada Gambar 6a.

Pada Gambar 7b defleksi maksimum pada *chassis* dengan material JIS G 3445 sebesar 1,2 mm pada *node* 6884 atau terletak pada dudukan motor listrik. Sedangkan defleksi minimum yang didapat sebesar 0 mm pada *node* 135.

Faktor keamanan maksimum pada *chassis* dengan material JIS G 3445 adalah 50 pada *node* 1 atau terletak pada posisi yang tidak terkena gaya sedikitpun. Sedangkan faktor keamanan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 3,6 pada *node* 5185 sehingga material sangat baik untuk digunakan, seperti pada Gambar 7c.



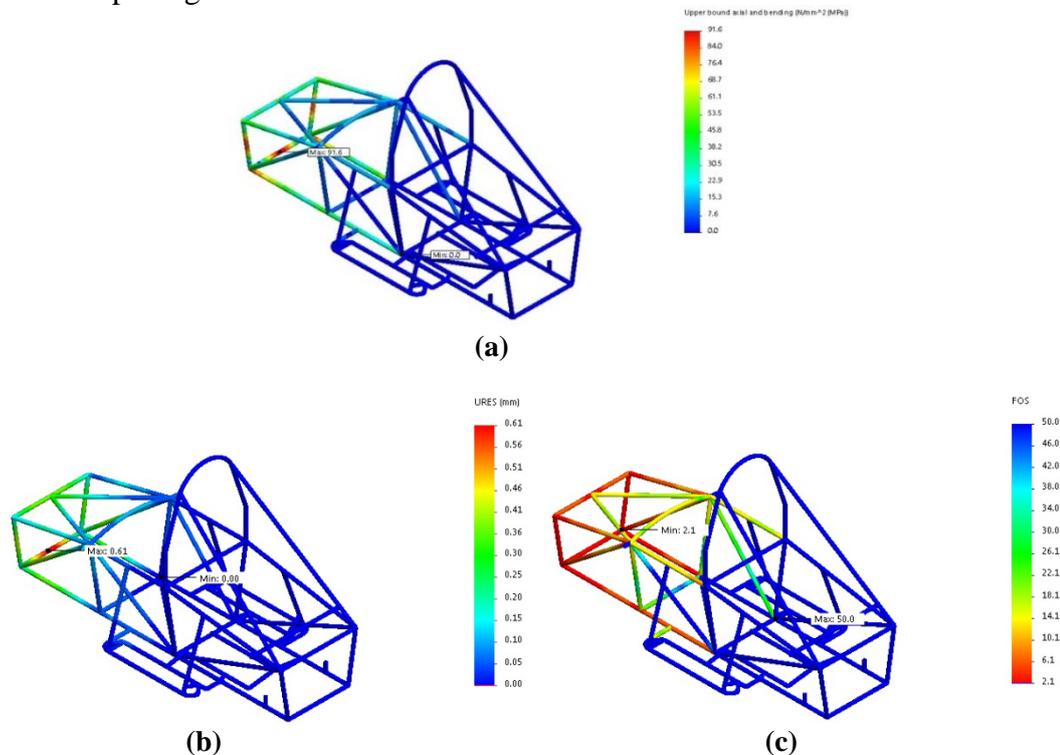
Gambar 7. Hasil *stress Analysis* pada beban statis *chassis*,
(a) Tegangan, (b) Defleksi, (c) FOS

Stress Analysis Chassis untuk Beban Tumbukan

Tegangan maksimum pada *chassis* dengan material JIS G 3445 adalah 91,6 N/mm² (Mpa) pada element 8838 atau terletak pada posisi depan *chassis* yang terkena gaya saat bertumbukan. Sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 0 N/mm² (Mpa) pada element 4060 (Gambar 8a).

Pada Gambar 8b dapat dilihat defleksi maksimum pada *chassis* dengan material JIS G 3445 sebesar 0,61 mm pada *node* 8761 atau terletak pada posisi depan *chassis* yang terkena gaya saat bertumbukan. Sedangkan defleksi minimum yang didapat sebesar 0 mm pada nodal 134.

Pada Gambar 8c dapat dilihat faktor keamanan maksimum pada *chassis* dengan material JIS G 3445 adalah 50 pada *node* 74 atau terletak pada posisi yang tidak terkena gaya sedikitpun. Sedangkan faktor keamanan minimum yang terjadi pada *chassis* sebesar 2,1 pada *node* 8761 sehingga material dapat digunakan.



Gambar 8. Hasil *stress Analysis* pada beban tumbukan *chassis*, (a) Tegangan, (b) Defleksi, (c) FOS

Resume Hasil Perancangan

Dari hasil analisis tegangan maka ukuran maupun jenis material yang digunakan dapat diketahui resume material yang diperlukan adalah sebagai berikut:

Material	: JIS G 3445 Steel dengan spesifikasi STKM 11
Ukuran Bahan Pipa	: Diameter 25,4 mm dengan tebal 2 mm sebanyak 18 meter, Diameter 19,05 mm dengan tebal 1,6 mm sebanyak 12 meter dan Plat dengan tebal 3 mm sebanyak 1m ² .
Dimensi (PxLxT)	: 1800 mm x 800 mm x 1000 mm
Wheelbase	: 1100 mm
Jarak Antar Ban	: 1300 mm
Coating standard	: Standar ISO 12944-C2 Dengan bahan <i>Zinc phosphate epoxy</i> tebal 80 μ m, <i>Micaceous iron acrylic</i> tebal 80 μ m
Massa Properties	: Mass = 35.725,67 grams, Center of mass: (millimeter) X = 963,83, Y = 190,47, Z = -200.00

SIMPULAN

Hasil Analisis beban statik dengan bahan JIS G 3445, *stress* maksimum sebesar 53,4 Mpa, simpangan maksimum sebesar 1,2 mm, *safety factor* sebesar 3,6. Sedangkan untuk beban

tumbukan, *stress* maksimum sebesar 91,6 Mpa, simpangan maksimum sebesar 0,61 mm, *safety factor* sebesar 2,1. Sehingga Chassis sudah memiliki *safety factor* diatas 2 sesuai dengan kriteria perancangan.

Dimensi *chassis* yang dirancang adalah 1800mm x 800mm x 1000mm, dengan mengacu kepada regulasi *chassis* sudah termasuk kepada kategori baik dimana posisi *rollbar* harus berada 5 cm diatas helm pengemudi dan lebar maksimum yaitu 120-140 cm. Ukuran bahan yang akan digunakan masing-masing berukuran: Diameter 25,4 mm dengan tebal 2 mm sebanyak 18 m, Diameter 25,4 mm dengan tebal 1,4 mm sebanyak 6 m, Diameter 19,05 mm dengan tebal 1,6 mm sebanyak 12 m dan plat dengan tebal 3 mm sebanyak 1m².

Massa *chassis* yang didapat dari *software SolidWorks* yaitu 35,7 kg telah memenuhi target sebesar di bawah 27 kg. *Coating* menggunakan standar ISO 12944-C2 dengan bahan *zinc phosphate epoxy* tebal 80 µm dan *micaceous iron acrylic* tebal 80 µm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. C.C. Chan, 2002, The state of the art of electric and hybrid vehicle, Proceedings of the IEEE 90(2): 247 - 275 Transactions on Vehicular Technology Journal, diakses dari halaman web: www.researchgate.net pada tanggal 10 Februari 2016.
- [2]. Keith J. Wakeham, 2009, Introduction to Chassis Design, Newfoundland and Labrador: Memorial University.
- [3]. Fadila, Ary, 2012, Analisis Simulasi Struktur Chassis Mobil Mesin, USU Berbahan Besi Struktur Terhadap Beban Statik Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Ansys 14, (ISSN 2338-1035), Universitas Sumatera Utara.
- [4]. Andersson, Carl Eurenus, 2009, "Analysis of Composite Chassis", The Department of Applied Mechanics, Division of Vehicle Engineering and Autonomous Systems, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- [5]. Revserve, 2013, Frame Material: Steel, Aluminium, Titanium, Carbon Fiber diakses dari halaman web: <http://cyclest.blogspot.co.id/2013/01/frame-material-steel-aluminium-titanium.html> pada tanggal 10 Februari 2016.
- [6]. Polban, 2015, Regulasi Kompetisi Mobil Listrik Indonesia VII (KMLI VII), 2015, Politeknik Negeri Bandung.
- [7]. Dobrovolsky . V, 1988, Machine Elements, Foreign Languages Publishing House, Moscow.
- [8]. David, G Ulman, 2010, The Mechanical Design Process, 4th edition.
- [9]. Kiran Ghodvinde, 2S. R.Wankhade 2014, Structural Stress Analysis of an Automotive Vehicle Chassis, International Journal on Mechanical Engineering and Robotics (IJMER), ISSN (Print): 2321-5747, Volume-2, Issue-6 2014.
- [10]. Gerhal. Pahl wolfgang Beitz, 1984, Engineering Design, design council London 1984.