

## **Kaji Eksperimental Kekakuan Sasis Mobil Listrik KMLI Jenis *Tubular Space Frame***

**Alif Muhammad Faris<sup>1</sup>, Marsono<sup>2</sup> dan M. Azis Mahardhika<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PT.Hyundai Motor Manufacturing Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

<sup>1</sup>GIIC Kota Deltamas Lot DG, Zona D, Kab Sukabumi

<sup>2</sup>Jl. PHH. Mustafa No.23 Bandung 40124

e-mail : [alifmfaris@hmmi.co.id](mailto:alifmfaris@hmmi.co.id)

### **ABSTRAK**

Rangka atau sasis adalah bagian penting dari sebuah kendaraan yang memiliki fungsi untuk menopang semua beban, mulai dari sistem penggerak, sistem kemudi, sistem suspensi, rakitan gandar, sistem pengereman hingga penumpang dan bagasi. Sasis harus bisa menjaga semua komponen yang bertumpu di atasnya tetap berada padaudukannya. Sasis harus mampu memberikan kekuatan, fleksibilitas, dan stabilitas kendaraan dalam berbagai kondisi operasi. Sasis juga harus mampu memiliki kekakuan terhadap beban bending maupun torsi yang serta harus sangat handal dan memberikan keamanan kepada penumpangnya. Dalam penelitian ini, dibuat sasis mobil listrik tipe tubular space frame untuk Kompetisi Mobil Listrik Indonesia (KMLI). Bahan yang digunakan adalah pipa baja UOE dengan diameter 1 inci. Sasis ini selanjutnya diuji dengan metode uji bending untuk mengetahui kekakuannya. Dari proses pembuatan didapatkan sasis yang memiliki dimensi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya. Sedangkan dari pengujian bending yang telah dilakukan, diketahui bahwa defleksi terbesar yang terjadi adalah 3,2 mm pada beban 125 kg. Dan dari hasil perhitungan diperoleh angka kekakuan sasis adalah 41,66 kg/mm.

**Kata kunci:** sasis, tubular space frame, pengelasan, kekakuan.

### **ABSTRACT**

*Chassis is an automotive component that functions to support all loads, starts from the traction system, steering system, suspension system, axle assembly, braking system, and also passengers and luggage. The chassis must also be able to ensure that all components stick on it are in the correct position. The chassis must be able to provide the strength, flexibility and stability of the vehicle under various operating conditions. The chassis must also be able to have rigidity against the bending and torsional loads and must be very reliable and provide security to the passengers. In this research, a tubular space frame type electric car chassis was made for the Indonesian Electric Car Competition (KMLI). The material used is UOE steel pipe with a diameter of 1 inch. This chassis was then tested using the bending test method to determine its stiffness. From the manufacturing process that has been carried out, it is obtained a chassis that has dimensions in accordance with the design that has been made in previous studies. From the bending tests that have been carried out, it is known that the largest deflection that occurs was 3.2 mm at a load of 125 kg. And from the calculation it is known that the chassis stiffness was 41.66 kg/mm.*

**Keywords:** Chassis, tubular space frame, welding process, stiffness.

## 1. Pendahuluan

Rangka atau *chassis* adalah komponen penting pada sebuah kendaraan. Sasis berfungsi untuk menopang semua beban, mulai dari sistem penggerak, sistem kemudi, sistem suspensi, rakitan gandar, sistem pengereman hingga penumpang dan bagasi [1]. Sasis harus mampu menjamin komponen yang terpasang padanya tetap berada pada posisinya. Sasis memberikan kekuatan, fleksibilitas, dan stabilitas kendaraan dalam berbagai kondisi operasi. Sasis juga harus memiliki kekakuan terhadap beban bending maupun torsi yang diprasyarkan serta harus sangat handal untuk memberikan keamanan kepada penumpangnya. Sasis memiliki bentuk yang beragam dengan penggunaan yang berbeda, seperti, rangka sasis tulang punggung (*backbone*), sasis tangga (*ladder frame*), rangka ruang tubular (*tubular space frame*), *monocoque* [2],[3].

Sasis sedapat mungkin harus dibuat dengan bobot yang ringan untuk meminimalkan penggunaan energi serta memiliki kemampuan manuver yang lebih baik namun tetap harus memiliki kekuatan yang tinggi demi keselamatan penumpang. Kedua hal ini, yaitu kekuatan dan bobot menjadi dua pertimbangan penting yang harus dikompromikan pada saat memilih material untuk membuat sasis. Pada kenyataannya dua hal ini umumnya saling bertolak belakang dan cukup sulit dikompromikan. Material yang lebih kuat biasanya memiliki bobot yang lebih berat sedangkan material yang lebih ringan biasanya memiliki kekuatannya yang lebih rendah [4].

Kekakuan struktur sasis menjadi permasalahan yang penting dalam rancangan sebuah kendaraan karena terkait dengan keamanan pengendara dan penumpang. Kekakuan yang tinggi akan membuat sasis tidak mudah berubah bentuk, sehingga badan (*body*) kendaraan yang terpasang di atasnya juga tidak mudah berubah bentuk. Badan kendaraan yang tidak mudah berubah bentuk akan menjaga penumpang yang ada di dalam kendaraan tetap aman. Struktur sasis juga harus mampu menjaga posisi komponen kendaraan yang lain seperti mesin penggerak, sistem transmisi, tangki bahan bakar, sistem suspensi, dan lain lain selalu tetap pada tempatnya dan itu membutuhkan kekakuan struktur. Sasis yang tidak cukup kaku akan mengakibatkan suspensi tidak akan berfungsi dengan baik, hingga bisa mengakibatkan kehilangan kendali atas kendaraan. Sasis yang memiliki kekakuan rendah tidak akan mampu mendukung fungsi-fungsi dari semua komponen kendaraan. Sasis juga harus menahan beban tanpa secara terus menerus tanpa banyak terjadi defleksi. Oleh karena itu, kekakuan mempengaruhi performa dan perilaku kendaraan secara signifikan [5].

Sasis mobil balap sebagaimana yang digunakan dalam KMLI tentu memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi dari kendaraan pada umumnya. Untuk mengantisipasi kondisi seperti ini rancangan mobil balap sesuai aturan resmi untuk memenuhi persyaratan keselamatan. Tuntutan utama sasis mobil balap adalah kekakuannya karena sasis tidak boleh terdefleksi, terutama ketika risiko mobil ini menikung di belokan dengan kecepatan tinggi yang mana pada saat itu akan timbul beban inersia akibat massa dan percepatan. Mobil balap juga harus tetap stabil ketika roda bergerak melewati jalan yang bergelombang. Sasis juga harus tahan terhadap beban benturan, yang mana kekakuan sasis yang rendah akan menyerap sebagian energi tumbukan melalui deformasi seperti pembengkokan, puntiran, gabungan pembengkokan dan puntiran, juga beban arah lateral dan longitudinal. Dengan demikian, struktur sasis mobil balap harus lebih baik dalam kekakuan daripada kekuatan.

Sasis dengan konstruksi *tubular space frame* memiliki keunggulan dalam hal kemudahan dalam perancangan serta bobot yang ringan. Batang-batang pembentuk struktur yang terbuat dari pipa atau dapat disusun dengan bentuk sambungan segitiga yang memiliki kekakuan maksimum terhadap beban lentur, puntir dan dampak [6]. Rangka berbentuk segitiga selalu membangun struktur dan bukan mekanisme. Rangka segitiga harus dibentuk dalam sasis untuk mendapatkan kekakuan sasis yang tinggi [7]. Sasis jenis ini juga membuka peluang untuk mendapatkan bobot yang lebih ringan. Hal ini memberikan keuntungan karena akan meningkatkan performa mobil dengan mengurangi hambatan karena rasio daya terhadap bobot (*power-to-weight ratio*)

yang tinggi, dan tentunya akan meningkatkan efisiensi energi. Kendaraan yang lebih ringan membutuhkan lebih sedikit energi untuk kinerja yang setara. Tubular space frame juga sangat mudah untuk dibuat, diperbaiki serta dimodifikasi. Pembiayaan yang juga murah membuat sasis jenis ini menjadi pilihan favorit untuk kompetisi mobil balap tanpa mengurangi keselamatan pengemudi [3],[8].

Dalam penelitian ini, dilakukan proses pembuatan sasis jenis *tubular space frame* untuk Kompetisi Mobil Listrik Indonesia (KMLI) berdasarkan rancangan yang telah dibuat oleh Syauqi Azhari (2020) dalam penelitian sebelumnya. Rancangan yang dilakukan melalui simulasi komputer dengan software Solid Works telah memberikan hasil yang baik dalam hal kekuatan, kekakuan, dan keamanan dan tentunya telah memenuhi regulasi KMLI [9]. Sasis ini dibuat dengan cara menyatukan batang-batang pembentuk struktur dari bahan pipa baja dengan proses pengelasan. Sasis yang telah jadi selanjutnya diuji untuk mengetahui kekuatannya dalam menahan beban serta kekakuannya. Angka-angka penting yang didapatkan dari hasil pengujian, terutama yang terkait dengan defleksi dan kekakuan sasis, selanjutnya dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari simulasi komputer untuk dikaji penyebab perbedaannya.

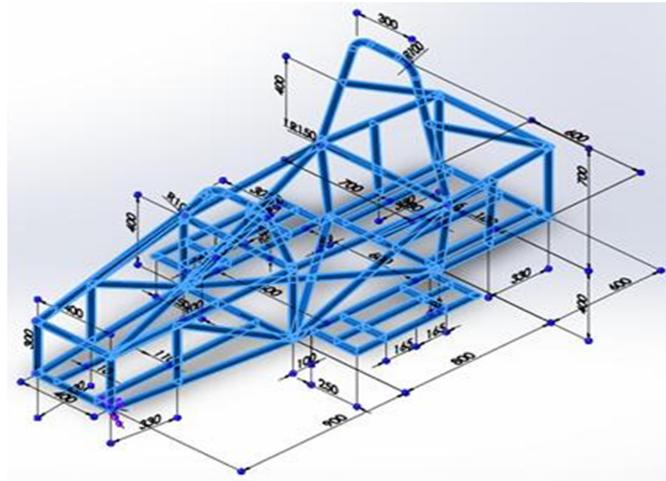
## 2. Metodologi

### 2.1. Rancangan Sasis

Sasis adalah bagian penting yang menjadi landasan dibangunnya sebuah kendaraan dan akan menjadi penopang semua komponen kendaraan lainnya. Sasis harus dirancang dan dibuat dari material yang kuat untuk menopang semua beban dari kendaraan. Sasis juga harus memenuhi fungsinya untuk menjaga agar kendaraan tetap rigid (kaku) dan tidak mengalami bending agar penumpang di dalamnya tetap aman [6]. Sasis yang dibuat dalam penelitian ini telah dirancang dalam penelitian sebelumnya oleh Syauqi Azhari [9], pada tahun 2020.

Perancangan yang telah dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer dengan software Solid Work memberikan hasil yang baik dalam hal kekuatan dan keamanan, dengan angka tegangan maksimum yang terjadi pada sasis adalah 22,06 MPa, lendutan maksimum 0,346 mm, dan faktor keamanan minimum 10,9 [9]. Namun hasil rancangan yang telah memenuhi regulasi utama KMLI ini dapat dikatakan sebagai rancangan yang teoritis dan belum tentu dapat direalisasikan dengan sempurna untuk mendapatkan hasil yang sama dengan rancangannya. Pada kenyataannya, perancangan yang dilakukan dengan asumsi-asumsi teoritis sering kali mengalami penyimpangan ataupun tidak dapat dipenuhi pada saat direalisasikan pada prototipe nyatanya.

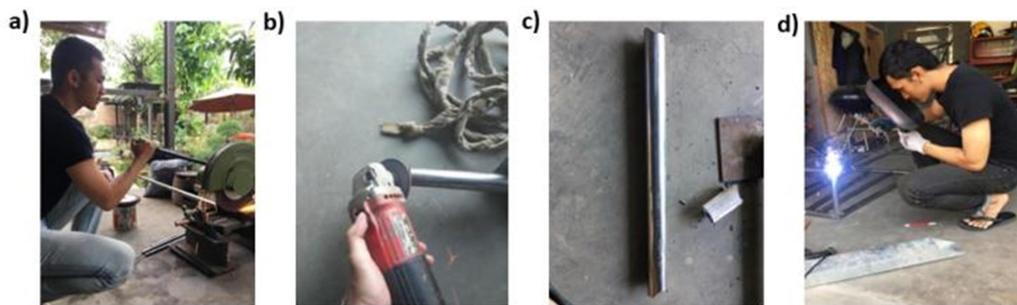
Dengan metode eksperimental dalam penelitian ini, yaitu melalui proses pembuatan dan pengujian terhadap sasis tipe *tubular space frame* ini, diinginkan performa chasis yang dapat memenuhi regulasi KMLI yang terkait dengan kekuatan, kekakuan serta keamanan untuk pengemudi. Prototipe yang didapatkan dari proses pembuatan ini diharapkan tidak menyimpang dari rancangan yang dalam hal dimensi dan tentunya performa mekaniknya, terutama kekuatan dan kekakuan. Rancangan sasis yang dibuat terlihat pada gambar 1 dengan ukuran panjang 2300 mm, lebar 1100 mm dan tinggi 1100 mm [9]. Ukuran detail dari struktur *space frame* terlihat pada gambar 1.



**Gambar 1. Gambar Isometrik Hasil Desain Sasis dengan detail ukuran [9]**

## 2.2. Proses Pembuatan Sasis

Sesuai dengan hasil perancangan yang telah dilakukan, bahan yang digunakan untuk pembuatan sasis adalah pipa baja UOE dengan ukuran diameter 1 inci dan ketebalan 3 mm. Pada tahap persiapan, pipa baja dipotong-potong dengan ukuran tertentu menggunakan mesin gerinda potong. Pemotongan dilakukan pada arah tegak lurus dari sumbu pipa, seperti yang terlihat pada gambar 2a. Proses pemotongan pipa dengan menggunakan gerinda potong akan menyisakan material hasil pemotongan yang masih menempel pada ujung-ujung pipa. Untuk menghilangkan sisa-sisa material yang menempel tersebut maka dilakukan proses pembersihan dengan gerinda tangan seperti yang terlihat pada gambar 2b. Bagian ujung pipa yang akan disambung selanjutnya dibuat alur profil yang sesuai dengan bentuk sambungan agar tidak ada celah antar sambungan pipa dan proses penyambungan yang dilakukan dengan pengelasan dapat menghasilkan kualitas hasil lasan yang baik dan sempurna. Ujung pipa yang telah dibentuk sesuai dengan profil sambungan terlihat pada gambar 2c. Pada ujung-ujung pipa yang akan disambung juga disiapkan kampuh las dengan cara membentuk sudut kampuh pada ujung-ujung profil sambungan pipa dengan gerinda tangan. Bentuk kampuh pada ujung-ujung profil sambungan pipa sangat penting disiapkan untuk mendapatkan sambungan las yang penuh sempurna pada ketebalan pipa. Pada beberapa bagian sasis *tubular space frame* yang dibuat terdapat juga bagian-bagian yang melengkung. Profil pipa yang melengkung ini dibentuk dengan menggunakan mesin pipe roll bending.



**Gambar 2. Proses pembuatan sasis a) pemotongan pipa ; b) penggerindaan ujung pipa ; c) Pembuatan alur profil ; d) proses pengelasan sasis**

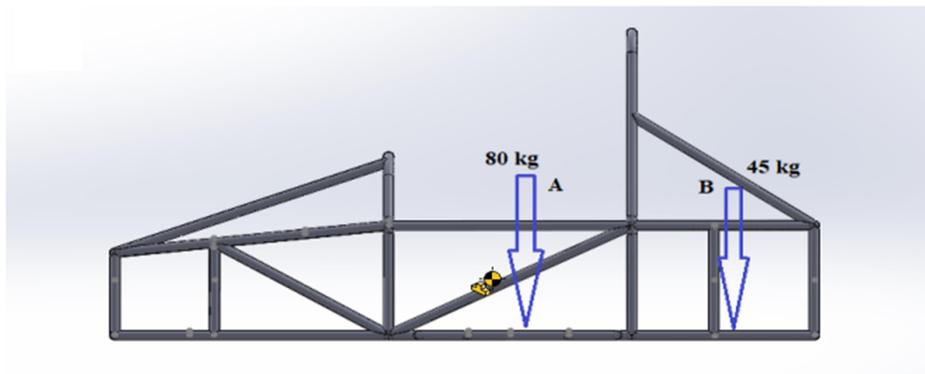
Bagian-bagian pipa yang telah dipotong-potong selanjutnya disambung dengan proses las SMAW. Tegangan yang digunakan pada pengelasan sasis ini adalah 220 Volt sedangkan

penyetelan arus berkisar antara 60 sampai 80 Ampere. Spesifikasi kawat las yang dipakai adalah RB-26. Proses pengelasan sasis ditunjukkan pada Gambar 2d.

### 2.3. Pengujian Kekakuan Sasis

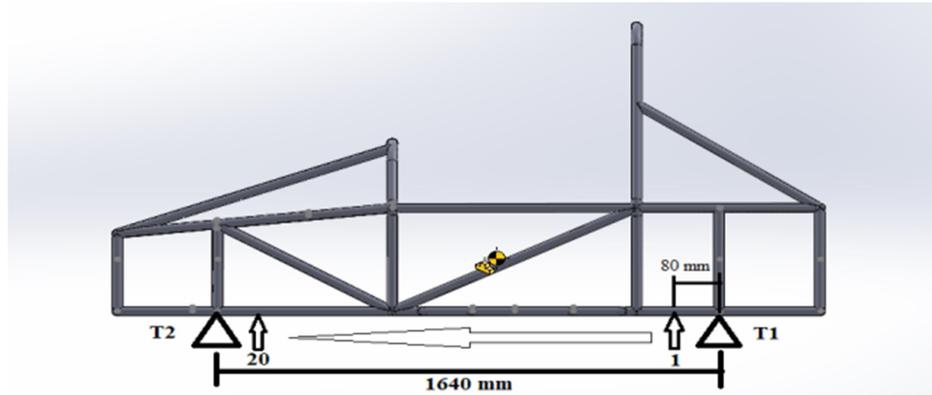
Sasis yang telah selesai dibuat selanjutnya diuji untuk mendapatkan nilai kekakuan sasis. Metode yang digunakan adalah metode uji bending, dimana sasis diletakkan di atas dua tumpuan yaitu di bagian depan dan di bagian belakang sesuai dengan posisi poros roda depan dan posisi poros roda belakang. Pembebanan diterapkan pada titik-titik kritis, yaitu beban dari pengemudi dan beban dari motor penggerak. Selanjutnya, defleksi yang terjadi pada sasis diukur dengan mengukur jarak antara bagian bawah sasis terhadap lantai untuk setiap titik tertentu pada sasis. Posisi awal di sepanjang bagian bawah sasis dijadikan sebagai referensi awal atau dianggap sebagai nilai defleksi nol dengan kondisi tanpa beban. Berdasarkan hasil perancangan, defleksi maksimum yang diperbolehkan adalah 10mm.

Langkah awal pengukuran defleksi sasis adalah menempatkan sasis di atas dua tumpuan sejauh 1640cm. Posisi tumpuan merupakan posisi pemasangan poros depan dan poros belakang pada sasis mobil KMLI. Posisi titik pembebanan terhadap sasis diletakkan pada titik A dan titik B, seperti yang terlihat pada gambar 3. Beban maksimum akan diberikan terhadap sasis adalah berat pengemudi, yaitu sebesar 80 kg pada titik A, dan berat motor penggerak sebesar 45 kg pada titik B. Pada saat pengujian, pembebanan dilakukan secara bertahap dengan kenaikan sebesar 20 % dari beban total, yaitu dengan kenaikan 16 kg pada titik A dan 9 kg pada titik B. Penambahan beban ini dilakukan secara bertahap hingga mencapai beban maksimum total yaitu 125 kg. Pembebanan yang dibuat bertahap ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kenaikan beban terhadap defleksi yang terjadi.



**Gambar 3. Ilustrasi Posisi Pembebanan**

Penentuan titik-titik pengukuran defleksi pada sasis didasarkan pada jarak antar titik tumpuan yang dibagi menjadi beberapa titik pengukuran dengan jarak yang sama. Titik-titik pengukuran defleksi ditentukan sebanyak 20 titik di sepanjang rentang jarak tumpuan, tidak titik termasuk tumpuan T1 dan tumpuan T2. Penentuan titik-titik pengukuran defleksi yang terjadi pada sasis terlihat pada gambar 4. Tidak ada alasan khusus dalam penentuan jumlah titik ukur untuk pengambilan data defleksi. Namun demikian, semakin banyak jumlah titik pengukuran defleksi maka akan semakin baik karena akan membentuk pola lendutan struktur sasis semakin halus.



Gambar 4. Posisi tumpuan dan posisi titik-titik pengukuran defleksi

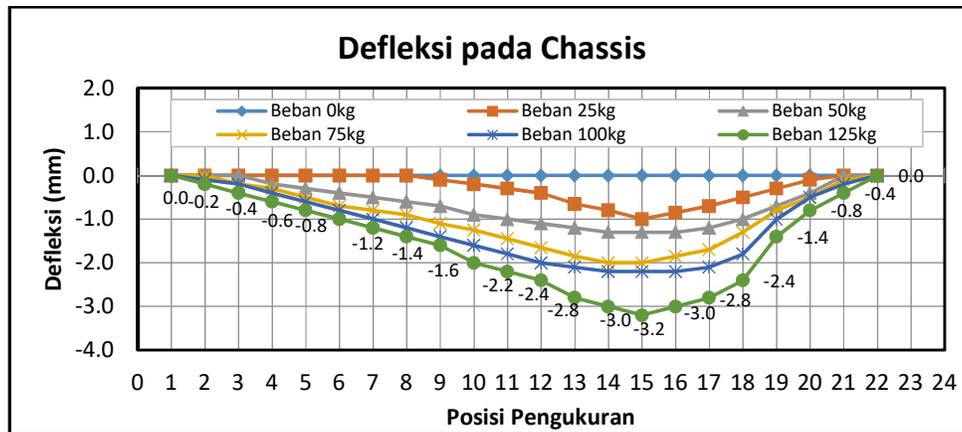
### 3. Hasil Dan Pembahasan

Dari proses pembuatan yang telah dilakukan, didapatkan hasil sasis mobil listrik KMLI seperti yang ditunjukkan dalam gambar 5. Berdasarkan hasil pengamatan secara visual, tingkat akurasi hasil pengelasan masih belum maksimal, yaitu terdapat beberapa dimensi detail pada *sasis* yang tidak sesuai dengan desain. Tingkat akurasi yang kurang baik ini terjadi karena proses pengelasan tidak didukung *welding jig* yang memadai untuk menjaga pipa tidak bergerak pada saat proses pengelasan berlangsung. Kesalahan pada hasil pengelasan karena keterbatasan *welding jig* sangat umum terjadi karena secara alamiah pengelasan sering kali menyebabkan distorsi pada produk yang dilas [10]. Namun, walaupun tidak menggunakan *jig*, hasil yang diperoleh berupa sasis *tubular space frame* mampu mencapai dimensi yang cukup akurat pada dimensi-dimensi yang kritis sesuai dengan rancangan, yaitu panjang total yaitu 1400 mm, lebar maksimal bagian bawah sebesar 600 mm, dan lebar maksimal bagian atas yaitu 700 mm.



Gambar 5. Sasis *space frame* yang telah selesai dibuat

Pengujian defleksi yang dilakukan pada sasis *tubular space frame* yang telah selesai dibuat memperlihatkan hasil seperti yang ditunjukkan oleh grafik dalam gambar 6. Grafik dalam gambar 6 dapat memberikan gambaran yang lebih jelas dan komprehensif tentang besar defleksi yang terjadi pada sasis untuk setiap posisi pengukuran dan untuk setiap variasi pembebanan.



Gambar 6. Defleksi Sasis pada beberapa posisi pengukuran

Grafik dalam gambar 6 memperlihatkan bahwa semakin besar beban yang diberikan, defleksi yang ditimbulkan juga meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan defleksi pada batang *simple beam*, yaitu momen lentur dibagi dengan modulus elastisitas dan momen inersia penampang batang. Dengan modulus elastisitas dan momen inersia penampang yang konstan, maka penambahan momen lentur akan memperbesar defleksi.

Defleksi terbesar yang terjadi pada pembebanan maksimum 125 kg, yaitu sebesar 3,2 mm pada posisi pengukuran di titik 15, yaitu area tempat duduk pengemudi. Angka defleksi ini jauh lebih besar daripada angka defleksi yang didapatkan dari hasil perancangan dengan simulasi komputer yang sebesar 0,3461 mm [9]. Faktor yang paling mungkin menjadi penyebab perbedaan angka defleksi ini adalah adanya perbedaan angka modulus elastisitas dan momen inersia penampang. Modulus elastisitas dari material yang dipakai dalam pembuatan sasis bisa saja berbeda dengan material standar yang diasumsikan dalam simulasi komputer. Bahan pipa yang dipakai dalam pembuatan sasis adalah bahan pipa yang dibuat dengan cara dilas, sedangkan dalam proses pengelasan bisa saja terjadi efek *heat treatment* yang mengubah modulus elastisitas. Efek *heat treatment* yang bisa mengubah modulus elastisitas juga bisa terjadi pada saat pembuatan sasis *tubular space frame*, dimana penyambungan batang-batang strukturnya dilakukan dengan proses pengelasan. Efek *heat treatment* ini sangat berisiko mengubah modulus elastisitas terutama di bagian simpul-simpul struktur sasis *space frame* tempat bertemunya beberapa batang-batang struktur yang pada titik tersebut terjadi beberapa kali pengelasan. Jika pada setiap simpul-simpul struktur sasis terjadi perubahan angka modulus elastisitas, maka sangat mungkin juga terjadi propagasi lendutan pada simpul-simpul tersebut.

Selain efek *heat treatment*, faktor lain penyebab perbedaan angka defleksi kemungkinan adalah besar angka momen inersia penampang. Besar angka momen inersia penampang sangat bergantung dari ukuran detail dari penampang lintang struktur. Pembuatan sasis *tubular space frame* yang dilakukan dengan proses las bisa saja menghasilkan sasis dengan ukuran detail yang berbeda dari rancangan, walaupun secara umum ukurannya tidak berbeda. Ukuran lebar dan tinggi sasis yang paling besar pengaruhnya terhadap momen inersia bisa saja menyimpang dari ukuran pada rancangan. Walaupun simpangan ukurannya hanya beberapa milimeter, namun perbedaan ini berdampak secara signifikan terhadap angka inersia. Selain itu, proses pengelasan juga memiliki risiko menyebabkan terjadinya distorsi dan penyimpangan ukuran detail dari struktur *space frame* pada sasis. Cacat yang juga bisa terjadi pada proses las, yaitu cacat inklusi, *undercut*, *underfill* dan porositas juga bisa menurunkan angka momen inersia penampang yang pada gilirannya akan memperbesar defleksi sasis.

Defleksi maksimum yang terjadi ini juga lebih besar daripada batas aman, yaitu 0,42 mm untuk struktur *simple beam* dengan bentang tumpuan sejauh 1640 [11]. Artinya masih diperlukan upaya untuk dapat menurunkan angka defleksi yang terjadi pada sasis yang telah dibuat. Salah satu upaya yang dapat dilakukan antara lain adalah menambahkan pelat penguat (*pad plate*) pada simpul-simpul struktur *space frame* ataupun menambah batang-batang struktur. Hal ini tentunya dapat dilakukan terlebih dahulu dengan menggunakan analisis simulasi komputer. Hal lain yang juga bisa diharapkan dapat menurunkan defleksi pada sasis dan meningkatkan kekakuan sasis adalah penerapan badan (*body*) kendaraan yang bisa mengunci struktur *space frame*.

Besaran yang diperoleh dari hasil pengujian sasis dan yang dapat dibandingkan secara langsung dengan rancangan hasil dari simulasi komputer hanya angka defleksi maksimum saja. Angka tegangan maksimum yang didapatkan dari simulasi komputer sebesar 22,06 MPa [9] tidak dapat dibandingkan secara langsung. Angka tegangan maksimum dapat diperoleh dengan menghitung terlebih dahulu angka momen inersia penampangannya, sedangkan untuk menghitung momen inersia penampang diperlukan ukuran detail dari penampang sasis yang tidak mudah untuk didapatkan secara manual. Dari sudut pandang lain, angka tegangan maksimum bisa saja tidak lagi menjadi penting ketika beban maksimum yang diberikan kepada sasis saat pengujian tidak berakibat kepada terjadinya deformasi plastis pada sasis. Atau dengan kata lain, jika tidak terjadi deformasi plastis pada sasis ketika sasis tersebut mendapatkan beban maksimum maka sasis tersebut dapat dianggap kuat.

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian, yaitu dari besar beban maksimum dan angka defleksinya, dapat dihitung angka kekakuan sasis. Dari hasil perhitungan beban maksimum terhadap defleksi didapatkan angka kekakuan yaitu: 125kg/3,2mm atau sebesar 39,06 kg/mm. Angka kekakuan struktur sasis *tubular space frame* sebesar 39,06 kg/mm mungkin belum cukup memadai, namun masih terbuka peluang untuk meningkatkan angka kekakuan sasis ini dengan penambahan pelat penguat dan penambahan bayang-bayang struktur. Pada sasis *tubular space frame* ini juga belum dipasang badan (*body*) kendaraan yang tentunya bisa semakin menambah kekakuan struktur sasis.

#### 4. Kesimpulan

Dari proses pembuatan *sasis* yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa *sasis* mobil listrik KMLI telah dibuat cukup mampu mencapai dimensi sesuai dengan rancangan secara kasar. Dari proses pembuatan juga dapat diketahui bahwa dengan peralatan yang minim, contohnya tanpa menggunakan *jig* pengelasan yang memadai, sasis tetap dapat dibuat walaupun masih diperlukan perbaikan-perbaikan di beberapa bagian.

Dari hasil uji bending yang dilakukan diketahui bahwa sasis *tubular space frame* yang telah dibuat dari bahan pipa baja UOE dengan ukuran diameter 1 inci dan ketebalan 3 mm dan proses utama berupa proses pengelasan sudah cukup memiliki kekuatan yang memadai namun belum dapat mencapai kekakuan yang diinginkan. Angka defleksi maksimum yang terjadi pada sasis *tubular space frame* yang telah dibuat adalah 3,2 mm, yaitu pada saat diberi beban 125 kg. Pada pembebanan 125 kg ini tidak terjadi deformasi plastis pada struktur sasis, sehingga sasis ini dapat dianggap kuat menahan beban yang sesuai dengan rancangan. Angka kekakuan sasis yang dicapai adalah sebesar 41,66 kg/mm.

#### 5. Daftar rujukan

- [1] Chala Jembere Bulgu. 2020. *Design a Space Frame Chassis for Light Weight Automobiles for Improved Safety and Reliability*. Mechanical Engineering Research. Vol. 9 No. 2, pp 36-50, ISSN 1927-0607 E-ISSN 1927-0615 Published by Canadian Center of Science and Education.

- [2] Mgbemena C.O., Okongwu, M.O and Ibadode. A.O.A, 2019, “*Design Considerations for Ladder Chassis of a Lightweight Vehicle*”, FUPRE Journal of Scientific and Industrial Research, Vol.3, (1), 2019, pp 54-66., ISSN: 2579-1184 (Print) ISSN: 2578-1129 (Online).
- [3] Ifeanyichukwu U. Onyenanu, O.N.K. Swift, P. N. Atanmo, 2015, ” *Design and Analysis of a Tubular Space Frame Chassis for FSAE Application*”, Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR) [www.jetir.org](http://www.jetir.org), Volume 2, Issue 10, October 2015, pp 134-140, (ISSN-2349-5162).
- [4] Damtie Enawgew, 2013, *Strength analysis of three wheeled vehicle’s chassis and body frame assembled in Ethiopia*. Master’s Thesis, Addis Ababa Institute of Technology, Addis Ababa.
- [5] David Krzikalla, Jakub Mesicek, Jana Petru, Ales Sliva and Jakub Smirau, 2019, *Analysis of Torsional Stiffness of the Frame of a Formula Student Vehicle*, Journal of Applied Mechanical Engineering, Vol. 8 Iss. 1 No: 315, pp. 1–5.
- [6] Tito Shantika, Eka Taufiq Firmansjah and Ilham Naufan, 2017, “*Perancangan Chassis Type Tubular Space Frame untuk Kendaraan Listrik*” POROS, Volume 15 Nomor 1, Mei 2017, pp. 9 – 17.
- [7] Yogesh Sahu, Nikhil Ramachandran, Sham Pandhavle, Hrushikesh Deshmukh, Prof. Shubhangi Manvatkar, 2018, “*Design and Analysis of Tubular Space Frame Chassis for Student Formula Race Car*”, International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology, 2018, pp. 1-5.
- [8] Prajwal Kumar M. P, Vivek Muralidharan, G. Madhusudhana, 2014, *Design And Analysis of A Tubular Space Frame Chassis of A High Performance Race Car*, International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume: 03 Issue: 02 Feb-2014, pp 497-501, e-ISSN: 2319-1163 p-ISSN: 2321-7308.
- [9] Syauqi Azhari, 2020, *Perancangan dan Analisis Statik Chassis Mobil Balap Listrik Jenis Tubular Space Frame*, Tugas Akhir Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional.
- [10] Rajender Singh, 2006, *Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology*. New Delhi : New Age International Publishers.
- [11] Robert L. Mott, E. M. Vavrek, and J. Wang, 2018, *Machine Elements in Mechanical Design*, 6th ed. New York: Pearson, Inc.