

PERANCANGAN, PEMBUATAN DAN PENGUJIAN RANGKA KENDARAAN UNTUK KOMPETISI MOBIL HEMAT ENERGI

Zhafari Alhariz Patriatna A.Md., Novi Saksono Brodjo Muhadi, ST., M.T., Addonis Candra, ST.

Politeknik Manufaktur Bandung
Jl.Kanayakan No 21- Dago,Bandung-40135
Phone/Fax : 022 250 0241 /40135

Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung
email: zhafari.ap.97@gmail.com

Abstrak

SEM (Shell Eco Marathon) merupakan kompetisi dimana mobil dituntut memiliki efisiensi bahan bakar yang tinggi serta aman bagi pengemudi, tentunya mobil memiliki beberapa bagian dan sub-bagian. Rangka merupakan hal yang paling dasar dari empat bagian dasar dalam mobil karena hampir seluruh sub-bagian mobil akan melekat atau terpasang pada rangka, rangka kendaraan roda empat memiliki beberapa jenis seperti tubular frame, monokok frame, rectangular ladder frame dan backbone frame. Yang menjadi perhatian dalam perancangan, pembuatan dan pengujian dalam tugas akhir ini adalah jenis tegangan pada rangka, beban yang terjadi pada rangka, bobot keseluruhan rangka, keamanan serta ergonomik terhadap pengemudi, serta kekuatan pada bagian kritis rangka. Hal tersebut dimaksudkan untuk dapat mengetahui kekuatan rangka saat diberi beban, serta menjamin bahwa pengemudi mobil akan aman saat terjadi hal yang tidak diinginkan (contoh terguling). Perancangan rangka biasa dilakukan dengan menggunakan *Software CAD* dengan menggunakan metoda VDI 2221 dilanjutkan dengan pembuatan rangka lalu dilakukannya pengujian baik itu menggunakan *Software* ataupun dilakukan secara nyata pada rangka. UKM otomotif Polman sudah beberapa kali melakukan analisa bahan serta ukuran bahan untuk rangka mobil untuk kompetisi SEM dan KMHE sebelumnya, yang merupakan project akhir Mahasiswa D-III prodi Teknik Mekanik Umum. Maka dari itu, penelitian ini akan difokuskan pada perancangan rangka, pembuatan rangka serta pengujian kekuatan rangka. Adapun metodologi penelitian yang dilakukan yaitu, pada tahap awal, dilakukan studi literatur dan perancangan rangka mobil, lalu diuji menggunakan *Software* untuk mengetahui titik kritis sehingga dapat dilakukan penyempurnaan. Selanjutnya dilakukan pemesanan material, proses manufaktur (Pembuatan), dan *Quality Control* yang mengacu pada regulasi dari kompetisi yang akan diikuti. Setelah rangka disempurnakan, dilakukan proses pengujian pembebanan terhadap rangka pada titik kritisnya. Hasil pengukuran yang didapatkan berupa defleksi yang terjadi yang kemudian akan diolah dan dianalisa. Adapun tujuan dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat menghasilkan rangka yang kuat, ringan, mudah dibuat, serta sesuai regulasi keamanan kompetisi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar mobil.

Kata kunci: mobil, rangka, pengujian, perancangan

1. PENDAHULUAN

Kompetisi Mobil Hemat Energi dan Shell Eco Marathon adalah kompetisi tahunan yang mana para peserta diharuskan merancang dan membuat sebuah kendaraan untuk dilombakan pada kompetisi efisiensi bahan bakar. Shell Eco Marathon tercetus ditahun 1939 ketika para ilmuwan Shell bertanding menciptakan kendaraan yang paling irit. Shell Eco Marathon

menjadi kompetisi ditahun 1985. Politeknik Manufaktur Negeri Bandung (Polman Bandung) sebagai salah satu perguruan tinggi yang memiliki kompetensi pada bidang teknik, khususnya dalam bidang manufaktur, yang terdiri dari perancangan, pembuatan, dan kontrol berusaha untuk berpartisipasi dalam event ini. Oleh karena itu, tim Japati K-21 POLMAN dibentuk untuk mempersiapkan tim

supermileage car POLMAN agar dapat berprestasi secara maksimal dalam event tersebut.

Efisiensi bahan bakar dapat diraih dengan memaksimalkan komponen utama dari kendaraan berupa penggerak, sistem transmisi, bodi, dan rangka. Kategori pada kendaraan dibagi menjadi dua, yaitu Prototipe dan Urban concept. Kendaraan *urban concept* merupakan kendaraan irit bahan bakar yang tampilannya menyerupai mobil konvensional saat ini.

Untuk memaksimalkan efisiensi konsumsi bahan bakar pada mobil, dapat ditempuh dengan meminimalkan gesekan, mengurangi hambatan udara, memaksimalkan tenaga dari penggerak ke roda. Secara tidak langsung rangka mobil yang kuat, ringan, dan mampu melindungi pengemudi dari kecelakaan fatal (contoh mobil terguling) sangat dibutuhkan.

Oleh karena itu perancangan rangka mobil dengan menggunakan profil *aluminium* kotak dilakukan, setelahnya dilakukan pengujian dalam batas pembebanan ideal kepada rangka terhadap fenomena yang terjadi saat mobil berjalan, terutama saat menikung serta terhadap beban diam yang berasal dari berat pengemudi, mesin, dan beberapa mekanisme yang terpasang pada rangka.

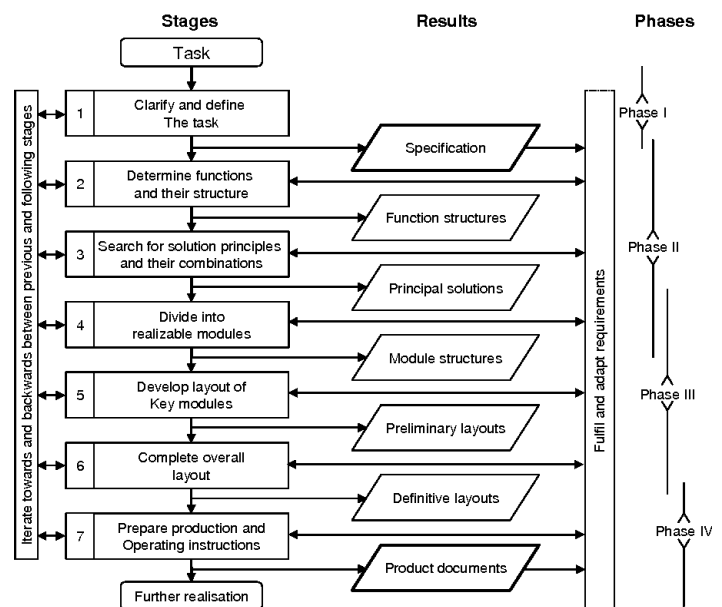
2. METODE PENELITIAN

Perancangan dan pembuatan rangka kendaraan untuk kompetisi mobil hemat energi ini menggunakan metode VDI 2221. Metode VDI 2221 merupakan salah satu metode penyelesaian masalah dengan menggunakan pendekatan sistematis untuk menyelesaikan permasalahan dengan mengoptimalkan penggunaan material dan teknologi yang ada. (Gerhard Pahl & Wolfgang Beitz, 2006) Dengan menggunakan metode VDI 2221 diharapkan dapat mempermudah mendapatkan solusi rancang bangun tanpa harus menguasai setiap faktor-faktor rancang bangun secara detail. Metode ini memiliki tujuh tahapan yang berada dalam 4 fase, adapun tujuh tahapan pada Metode VDI 2221 adalah :

- Tahap I : Klasifikasi Dan Penentuan Tugas (*Clarify and define the task*)

- Tahap II : Menentukan fungsi dan struktur yang digunakan (*Define function and their structure*)
- Tahap III : Mencari prinsip solusi, dan kombinasi solusi (*Search for principles and their combination*)
- Tahap IV : Pembagian ke module realisasi (*Divide into Realizable module*)
- Tahap V : Pengembangan rencana dari modul kunci (*Develop layout of Key module*)
- Tahap VI : Melengkapi rencana keseluruhan (*Complete overall layout*)
- Tahap VII : Persiapan Pembuatan dan instruksi operasi (*prepare production and operating instruction*)

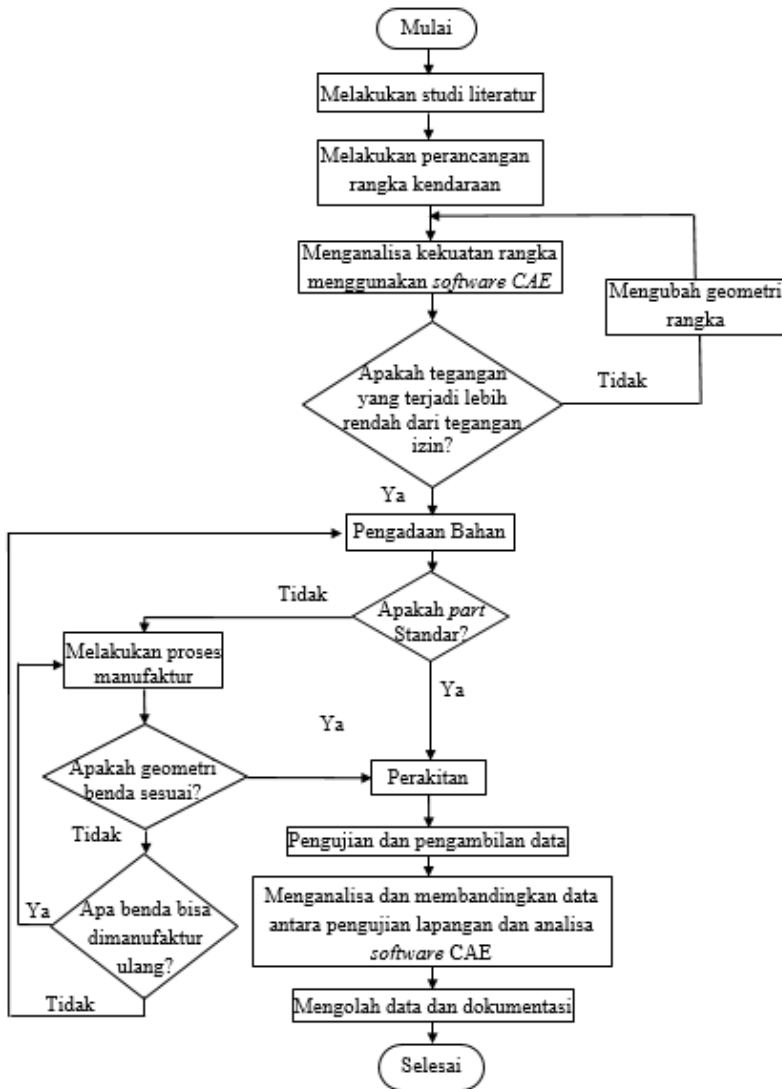
Setelah ke tujuh tahap tersebut dilakukan maka output dari sebuah rancangan akan dibuatkan purwarupa (*prototype*) atau diproduksi, produk atau purwarupa hasil pembuatan dengan metode VDI 2221 selanjutnya digunakan sesuai dengan kebutuhan dan tujuan dari penugasan yang sudah dilakukan.



Gambar 1. Metode VDI 2221

3. PERENCANAAN DAN Pengerjaan PROYEK

Tujuan dari proyek akhir, adalah mendapatkan rangka yang kuat menerima beban serta lebih ringan dari rangka sebelumnya. Untuk mencapai hal tersebut penelitian dilakukan dengan struktur yang sistematis. Diagram alir dari proses pengerjaan proyek akhir sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Studi literatur merupakan kegiatan mencari referensi teori yang berkaitan atau berguna untuk memecahkan kasus atau permasalahan yang didapat, sembari mempelajari referensi tersebut. Nantinya referensi tersebut digunakan sebagai opsi pemecahan masalah. Setelah dilakukan nya studi literatur, maka dimulai lah proses perancangan rangka menggunakan metoda VDI 2221, tahap-tahap yang dilakukan saat perancangan meliputi:

• Klasifikasi Dan Penentuan Tugas

Tahap ini meliputi pengumpulan informasi atau data tentang syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh rancangan beserta batasan-batasannya. Hasil dari tahap ini berupa syarat-syarat atau spesifikasi dari alat yang akan didesain. Dalam perancangan rangka kendaraan mobil hemat energi, informasi atau data yang menjadi syarat-syarat yang harus dipenuhi diperoleh dari:

- Regulasi teknis Shell Eco Marathon.
- *Feedback* driver tahun lalu.
- Hasil evaluasi tes pasca event.
- Hasil evaluasi lomba tahun sebelumnya.

Dari data yang sudah didapat maka dapat dirumuskan menjadi daftar tuntutan yang harus dipenuhi dan dapat diperkirakan proses pengerjaan yang harus dilakukan dalam pembuatan rangka tersebut. Berikut daftar tuntutan yang harus dipenuhi dalam perancangan serta pembuatan rangka.

Tabel 1. Daftar tuntutan

No	Daftar Tuntutan
1	Rangka dapat mengakomodir batas ketinggian mobil (1000 mm – 1300 mm)
2	Rangka dapat mengakomodir batas lebar mobil (1000 mm – 1300 mm)
3	Rangka dapat mengakomodir batas panjang kendaraan (2200 mm - 3300 mm)
4	Rangka dapat mengakomodir batas <i>track width</i> (depan 1000mm, belakang 800 mm)
5	Rangka dapat mengakomodir <i>wheelbase</i> minimum (1200 mm)
6	Rangka dapat mengakomodir ukuran <i>cockpit</i> minimum (Tinggi 800 mm dan Lebar minimum 700 mm pada bagian bahu pengemudi)
7	Rangka dapat mengakomodir <i>ground clearance</i> minimal (100 mm)
8	Rangka dapat menahan beban pengemudi, mesin, beban pengetesan <i>rollbar</i> , beban aki serta beban bodi
9	Rangka dapat mengakomodir kemudahan pengemudi untuk keluar dari mobil dibawah 10 detik
10	Rangka lebih ringan dari rangka tahun sebelumnya

- **Menentukan Fungsi dan Struktur yang digunakan**

Didalam menentukan fungsi dan struktur yang akan digunakan dalam rangka ini harus melewati beberapa tahapan yaitu:

- **Pembagian Fungsi dan Struktur yang digunakan**

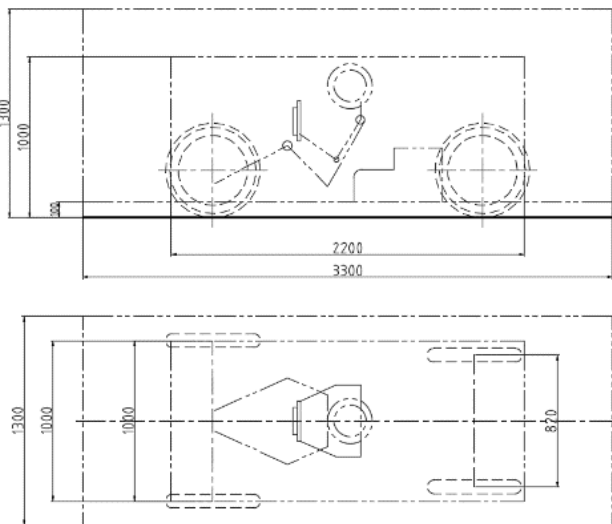
Pada kegiatan kali ini dilakukan pembagian fungsi pada rangka kendaraan hemat energi sebagai sarana untuk mencari alternatif dan pemecahan masalah. Fungsi keseluruhan rangka kendaraan adalah untuk menopang seluruh sistem yang ada di mobil dan sekaligus menjadi tempat menopang pengemudi.



Gambar 2. Sketsa Black Box

- **Pembuatan konsep kasar berdasarkan daftar tuntutan yang ada**

Perancangan rangka kali ini menggunakan bahan dasar aluminium 6060 rectangular tube 50 x 25 x 3, dan pipa aluminium 6060 Ø 20 x 3 sebagai material dasar rangka.



Gambar 3. Konsep kasar

- **Mencari Prinsip Solusi, dan Kombinasi Solusi**

Mobil Hemat Energi merupakan sebuah kendaraan yang terdiri dari sistem kemudi, sistem penggerak, sistem pengereman serta bodi yang terpasang pada rangka kendaraan. Prinsip Kerja

rangka kendaraan hemat energi ini adalah, ketika gerak putar mesin ditransmisikan ke roda penggerak, maka roda penggerak yang diikat dengan menggunakan baut pada rangka akan menggerakkan rangka beserta pengemudi. Lalu untuk mengendalikan jalur gerak rangka/mobil maka terdapat sistem kemudi yang terpasang pada sistem dudukan untuk sistem kemudi pada bagian depan rangka sehingga mobil dapat berbelok. Adapun opsi yang sudah didapat dikelompokkan menjadi alternatif fungsi keseluruhan sebagai berikut:

Tabel 2. Tabel alternatif keseluruhan

No	Fungsi Bagian	Alternatif Fungsi Bagian		
		Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1	Rangka utama	A1	A2	A3
2	Rollbar dan rollcage	B1	B2	B3
3	Dudukan sistem kemudi	C1	C2	C3
Alternatif Fungsi Keseluruhan		AFK 1	AFK 2	AFK 3

Setelah memiliki beberapa opsi maka dilakukan pemilihan, untuk memilih alternatif fungsi keseluruhan yang akan dikembangkan lebih lanjut dalam fase selanjutnya. Penilaian juga akan memberikan alasan pemilihan suatu konsep rancangan optimal yang berdasar pada aspek-aspek yang menentukan layak atau tidak layaknya sebuah konsep untuk direalisasikan. Pemilihan alternatif fungsi keseluruhan dilakukan dari dua aspek, yaitu aspek teknis dan aspek ekonomis.

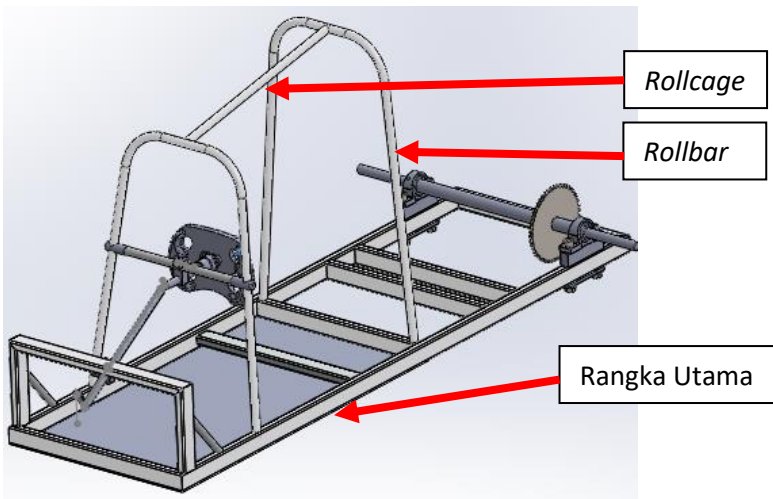
Tabel 3. Pemilihan dari aspek teknis

No	Aspek yang dinilai	Bobot	Alternatif Fungsi Keseluruhan			Nilai Ideal				
			AFK1	AFK2	AFK3					
1	Pencapaian Fungsi	5	5	25	5	25	5	25		
2	Konstruksi	3	3	9	1	3	4	12	5	15
3	Kemudahan Pembuatan	4	3	12	2	8	4	16	5	20
4	Kepresisian Alat	3	2	6	2	6	2	6	5	15
5	Kemudahan Perakitan	5	3	15	2	10	5	25	5	25
Nilai Total				67		52		84		100
Persentase (%)				67%		52%		84%		100%

Tabel 4. Pemilihan dari aspek ekonomis

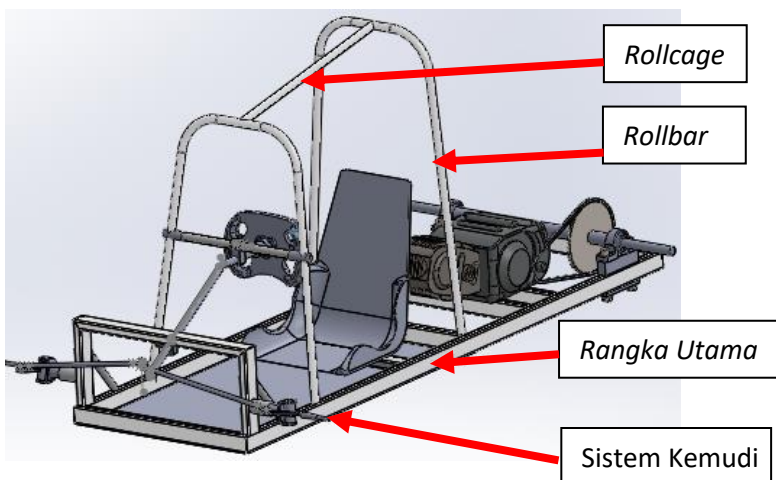
No	Aspek yang dinilai	Bobot	Alternatif Fungsi Keseluruhan						Nilai Ideal	
			AFK1		AFK2		AFK3			
1	Biaya Pembuatan	4	4	20	2	8	5	20	5	20
2	Optimasi Part Standar	3	3	9	1	3	3	9	5	15
3	Biaya Maintenance	3	3	9	2	6	4	16	5	15
Nilai Total			38		17		45		50	
Persentase (%)			67%		52%		90%		100%	

Setelah dilakukan pemilihan maka alternatif fungsi yang dipilih adalah AFK3, di mana AFK 3 memiliki konstruksi rangka yang dapat di lihat pada gambar



Gambar 4. Alternatif Fungsi Keseluruhan 3

• **Pembagian ke Modul Realisasi**

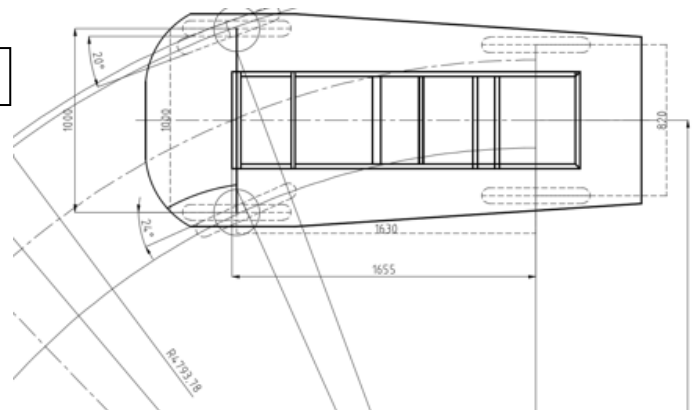


Gambar 5. Pembagian modul untuk direalisasi

Pada tahap ini rancangan rangka dibagi menjadi beberapa modul, dalam kasus kali ini dibagi menjadi dua modul, yaitu rangka utama dan *rollbar & rollcage*. *Rollbar* dan *rollcage* ini menjadi kesatuan karena dalam praktiknya *rollbar* dan *rollcage* ini adalah dua modul yang berbeda namun jika salah satu modul tidak ada maka konstruksi *rollbar* dan *rollcage* ini tidak berfungsi dengan baik, sehingga *rollbar* dan *rollcage* pun dihitung menjadi satu modul. Modul kunci pada rancangan kali ini tentu saja ada di rangka utama.

• **Pengembangan Rencana dari Modul Kunci**

Pada tahapan ini modul kunci berperan aktif untuk menghasilkan pengembangan yang akan terjadi pada konstruksi yang ada, baik itu pengembangan dengan maksud untuk mempermudah proses pengerjaan, atau untuk memberikan fungsi tambahan, pada struktur/konstruksi, hasil dari tahap ini berupa alternatif-alternatif yang didasari oleh modul kunci sebagai dasar pengembangannya. Seperti contoh, pada gambar 6 diperlihatkan proses pengembangan yang di pengaruhi oleh sistem kemudi yang baru.



Gambar 6. Pengembangan rencana yang dipengaruhi oleh sistem kemudi

• **Melengkapi Rencana Keseluruhan**

Kali ini melengkapi draft rancangan secara keseluruhan, baik itu dari alternatif fungsi keseluruhan yang sudah dipilih maupun menambahkan hal hal yang kurang dari konstruksi, serta hal hal lain yang dibutuhkan saat proses pembuatan rangka kendaraan ini. karenanya proses akhir tahap ini berupa dokumentasi teknik yang akan digunakan saat proses pembuatan rangka.

- **Persiapan Pembuatan dan Instruksi Operasi**

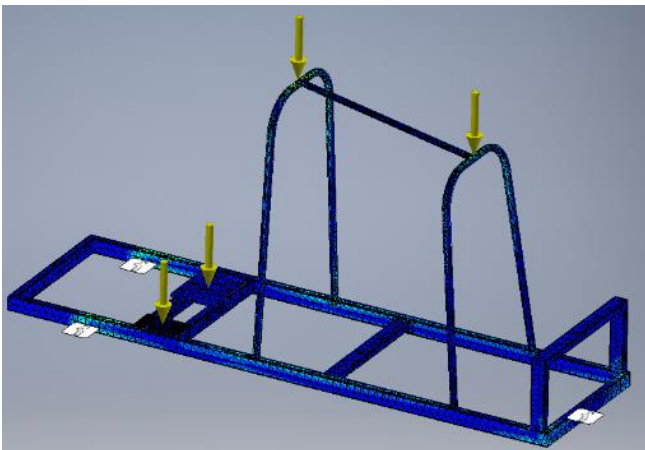
Pada tahap terakhir ini, kegiatan menyiapkan kebutuhan pada saat proses pembuatan, serta pembuatan intruksi operasi pembuatan atau lebih dikenal dengan modul *operatioan plan*, dibuat agar saat proses pembuiatan tidak terjadi salah informasi. Pada tahap ini perancangan sudah dianggap selesai.

- **Pemodelan 3D CAD**

Pembuatan 3D modeling dari objek penelitian dilakukan agar dapat memberi gambaran tentang objek yang akan diteliti, model 3D pula yang nantinya akan digunakan untuk proses analisa menggunakan *software*, fokus utama penelitian ini adalah untuk meneliti kekuatan rangka utama dari mobil tersebut.

- **Proses analisa kekuatan rangka aluminium menggunakan *software***

Analisa kekuatan rangka menggunakan *software* bertujuan untuk mengurangi resiko kegagalan bahan saat pembuatan rangka, rangka dihitung kekuatannya terhadap beban yang diberikan didalam *software*. Mulai dari menentukan distribusi gaya pada rangka, *meshing* hingga akhir nya menganalisa kekuatan rangka menggunakan *software*.



Gambar 7. Hasil analisa *software*

Dari analisis kekuatan rangka menggunakan *software* dapat diketahui besar nya tegangan yang terjadi pada rangka sehingga didapat hasil analisis kekuatan rangka sebagai berikut sebagai berikut:

Tabel 5. Data hasil analisis kekuatan rangka menggunakan *software*

Pembebanan	Tegangan Maksimal (R. Von Misses)	Tegangan Maksimal (Tresca)
Beban Mesin	17.98 N/mm ²	13.26 N/mm ²
Beban pengujian Rollbar	50.12 N/mm ²	52.34 N/mm ²
Beban bodi pengemudi, mesin, accu	51.72 N/mm ²	60.72 N/mm ²
Beban bodi, pengujian rollbar, mesin dan accu	51.88 N/mm ²	61.45 N/mm ²
beban pengujian rollbar, mesin, accu, bodi dan pengemudi	88.74 N/mm ²	113.1 N/mm ²
Beban sentrifugal	107 N/mm ²	92.22 N/mm ²

Jika di lihat pada tabel 5 tegangan yang terbesar yang terjadi adalah sebesar 88.74N/mm² Jika dibandingkan dengan *ultimate yield strength* dari alluminium 6060 yang sebesar 180 N/mm² maka dapat dikatakan bahwa tegangan yang terjadi pada rangka masih aman dan rangka kuat menerima beban yang ada. Selain tegangan defleksi yang terjadi pada rangka pun di analisa dengan tujuan sebgai data pembanding dengan data defleksi hasil pengujian langsung pada rangka. Berikut data defleksi hasil analisis *software*:

Tabel 5. Data defleksi hasil analisis menggunakan *software*

Pembebanan	Defleksi pada rollbar	Defleksi pada rangka utama
Beban Mesin	0.4 mm	0.32 mm
Beban pengujian Rollbar	1.15 mm	0.29 mm
Beban pengemudi, mesin, accu	2.23 mm	2.82 mm
Beban bodi, pengujian rollbar, mesin dan accu	4.43 mm	3.1 mm
Beban pengujian rollbar, mesin, accu, bodi dan pengemudi	5.96 mm	4.77 mm
Beban sentrifugal	3.85 mm	4.82 mm

Jika dilihat dari tabel 6 maka dapat diketahui bahwa defleksi yang terjadi akan berkisar 5.96 mm jika di dibandingkan dengan defleksi ijin yang dimiliki oleh aliminium 6060 sebesar 8.77 mm, maka defleksi yang terjadi masih lebih kecil maka defleksi yang terjadi masih aman.

- **Pembuatan Rangka Mobil**

Proses manufaktur/pembuatan rangka memiliki beberapa proses yang harus dilakukan agar rangka bisa terwujud, adapun proses manufaktur yang digunakan untuk pembuatan rangka adalah proses pemotongan bahan baku, proses bending pipa, serta proses pengelasan.



Gambar 8. Hasil pembuatan rangka

4. PENGAMBILAN DATA DAN ANALISA

Setelah rangka selesai dibuat maka langkah selanjutnya adalah diuji kekuatan rangka tersebut. Cara pengujian kekuatan rangka adalah dengan cara diberi beban yang mewakili beban statis yang terjadi pada mobil. Lalu defleksi yang terjadi diukur menggunakan *dial indicator*, nantinya data berupa defleksi rangka yang terjadi akan dibandingkan dengan data defleksi hasil analisa kekuatan rangka menggunakan *software* yang akan dianalisa.

- **Pengujian Pada Spesimen Rangka**

Pengujian pemberian beban langsung pada spesimen rangka harus dilakukan untuk memvalidasi hasil analisis yang telah dilakukan software komputer. Pengujian pada spesimen memiliki dua macam pengujian. Yaitu pengujian pada *rollbar* dan pengujian pada rangka utama.

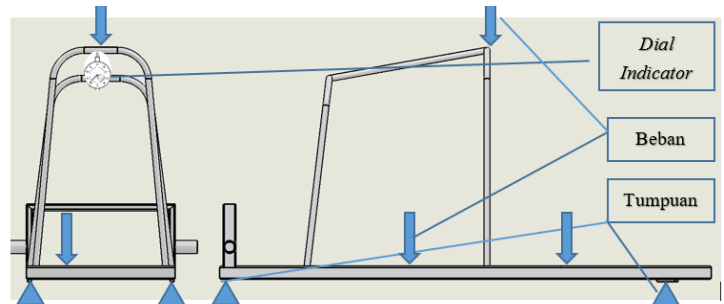
- **Pengukuran *Dissplacement* Pada Rangka**

Pengukuran *dissplacement* atau defleksi dilakukan pada titik kritis yang terlihat pada

analisa software. Titik kritis defleksi ditandai dengan warna merah. Sedangkan warna biru menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi kecil. Namun pada beberapa kasus, titik kritis tidak terwakili dengan warna merah, namun tergantung dari pembebanannya, apakah lebih membebani rangka utama atau malah membebani *rollbar*. Dalam penelitian kali ini terdapat dua titik yang akan diukur defleksinya, yaitu defleksi pada *rollbar* dan defleksi pada rangka utama.

- **Pengukuran Defleksi Pada *Rollbar***

Pengukuran defleksi dilakukan pada bagian *rollbar* yang memiliki kemungkinan besar mendapatkan beban sangat besar dan banyak. Skema pengukuran seperti pada gambar 9, dimana *dial indicator* ditempatkan untuk mengukur defleksi yang terjadi pada bagian *rollbar*.



Gambar 9. Skema pengukuran defleksi pada *rollbar*

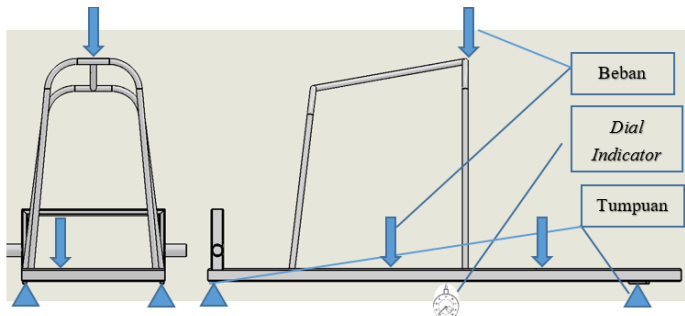
Adapun hasil pengukuran defleksi yang sudah dilakukan pada saat melakukan penelitian pada rangka dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Data hasil pengukuran defleksi menggunakan dial tusuk pada rollbar

Pembebanan	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 4	Rata-rata
Beban bodi, pengujian rollbar, mesin dan accu	4.26 mm	4.25 mm	4.26 mm	4.24 mm	4.25mm
Pengujian <i>Rollbar</i>	1.1 mm	1.15 mm	1.12 mm	1.13 mm	1.12 mm
Beban Mesin	0.40 mm	0.40 mm	0.39 mm	0.39 mm	0.4 mm
Beban pengemudi, mesin, accu	2.16 mm	2.14 mm	2.13 mm	2.14 mm	2.14 mm

- **Pengukuran Defleksi Pada Rangka Utama**

Pengukuran defleksi dilakukan pada rangka utama yang dengan kasus pembebanan yang berkemungkinan besar membuat rangka mendapatkan beban yang sangat besar. Skema pengukuran seperti pada gambar 10, dimana *dial indicator* ditempatkan untuk mengukur defleksi yang terjadi pada bagian rangka utama.



Gambar 10. Skema pengukuran defleksi pada rangka utama

Untuk hasil pengukuran defleksi yang terjadi pada bagian rangka utama dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Data hasil pengukuran defleksi menggunakan dial tusuk pada rangka utama

Pembebanan	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	Percobaan 4	Rata-rata
Beban bodi, pengemudi, mesin, accu	2.76 mm	2.83 mm	2.70 mm	2.80 mm	2.77 mm
Beban bodi, pengujian rollbar, mesin dan accu	3.19 mm	3.15 mm	3.1 mm	3.09 mm	3.13 mm

- **Pembandingan Data Displacement Analisa Software Terhadap Data Hasil Pengujian Pada Rangka**

Dari data yang telah dilakukan maka akan dilakukan perbandingan data yang didapat apakah pengujian tersebut dapat dikatakan valid atau tidak.

Tabel 8. Hasil perbandingan data pengujian software dan data pengujian pada rangka utama

Pembebanan	Hasil Software	Hasil Pengujian	selisih data
Beban bodi, pengemudi, mesin, accu	2,82 mm	2,77 mm	0,05 mm

Beban bodi, pengujian rollbar, mesin dan accu	3.1 mm	3.13 mm	0,03 mm
---	--------	---------	---------

Dari tabel 8 dapat terlihat bahwa selisih yang terjadi untuk kasus pembebanan tanpa pengujian *rollbar* sebesar 0.05 mm sedangkan untuk penyimpangan yang terjadi pada kasus pembebanan tanpa pengemudi sebesar 0.03 mm. Selanjutnya perbandingan data antara defleksi hasil pengujian software pada *rollbar* dengan data hasil pengukuran defleksi pada *rollbar*.

Tabel 9. Hasil perbandingan data pengujian software dan data pengujian pada *rollbar*

Pembebanan	Hasil Software	Hasil Pengujian	Selisih data
Beban bodi, pengemudi, mesin, accu	2,23 mm	2,14 mm	0,09 mm
Beban bodi, pengujian rollbar, mesin dan accu	4,43 mm	4,25 mm	0,18 mm
Beban Pengujian kekuatan <i>rollbar</i>	1,15 mm	1,13 mm	0,02 mm

Dari tabel 9 terlihat penyimpangan yang terjadi untuk kasus pembebanan tanpa pengujian *rollbar* sebesar 0.09 mm. Penyimpangan yang terjadi pada kasus pembebanan tanpa pengemudi sebesar 0.18 mm serta kasus pembebanan pengujian kekuatan *rollbar* sebesar 0.02 mm.

Selanjutnya data yang ada dibandingkan dan dilihat persentase data *error* yang terjadi. Jika data *error* masih masuk kedalam toleransi data *error* maka pengujian yang dilakukan telah benar serta data yang dikumpulkan telah valid. Adapun untuk mengetahui persentase data *error* yang terjadi, perhitungan persentase data *error* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ error} = \frac{\text{Selisih Data}}{\text{Rata - Rata Data pengujian}} \times 100\%$$

Maka dengan menggunakan rumus diatas akan dihitung persentase penyimpangan data yang didapat seperti yang ada pada tabel 10 dan tabel 11.

Tabel 10. Hasil perbandingan data pengujian software dan data pengujian pada *rangka utama*

Pembebanan	Hasil Software	Hasil Pengujian	selisih data	Persentase data error
------------	----------------	-----------------	--------------	-----------------------

Beban bodi, pengemudi, mesin, accu	2,82 mm	2,77 mm	0,05 mm	1.81%
Beban bodi, pengujian rollbar, mesin dan accu	3.1 mm	3.13 mm	0,03 mm	0,96 %

Tabel 11. Hasil perbandingan data pengujian software dan data pengujian pada *rollbar*

Pembebanan	Hasil Software	Hasil Pengujian	Selisih data	Persentase data error
Beban bodi, pengemudi, mesin, accu	2,23 mm	2,14 mm	0,09 mm	4,21%
Beban bodi, pengujian rollbar, mesin dan accu	4,43 mm	4,25 mm	0,18 mm	4.23 %
Beban Pengujian kekuatan <i>rollbar</i>	1,15 mm	1,13 mm	0,02 mm	1,77 %

Hasil akhir dari rangkaian pengujian adalah persentase data *error* yang terjadi antara data *software* terhadap data hasil pengujian pada rangka. Diketahui bahwa data *error* yang didapatkan berdasarkan referensi dari Autodesk sebesar 4.35%. Pada tabel 10 dan 11 terlihat hasil pengukuran yang dibandingkan dengan analisa *software*. Karena penyimpangan yang terjadi masih dapat diterima, maka dapat dikatakan parameter yang dilakukan saat analisa menggunakan software sudah benar dan rangka kuat untuk menerima beban yang ada.

- **Analisa Penyebab Terjadinya Selisih Antara Data Pada Analisa Software dan Data Hasil Pengukuran Pengujian**

Jika dilihat dari selisih yang terjadi antara hasil analisis *software* dengan pengujian pada rangka yang lebih kecil dari batas *error* data yang didapat oleh Autodesk. Sehingga dapat dikatakan parameter saat melakukan analisa kekuatan rangka saat menggunakan software sudah tepat dan rangka mampu menahan beban yang ada. Dari hasil analisa ditemukan faktor-faktor penyebab terjadinya selisih antara analisa menggunakan software dan pengujian langsung pada rangka, adapun faktor-faktor tersebut adalah:

- Terdapat perbedaan ukuran geometri antara rangka dan 3D modelling pada software, hal

ini disebabkan karena rangka yang telah dibuat, tidak sama persis seperti yang ada pada 3D model.

- Kondisi pengukuran defleksi yang tidak sepenuhnya sama dengan kondisi pengukuran pada software pada software.
- Kecenderungan *rollbar* untuk bergerak sedikit ke belakang membuat pengukuran pada *rollbar* dengan *dial* kurang presisi. Bahkan jika dilihat dari persentase selisih data pengukuran, bagian *rollbar* memiliki persentase selisih yang besar jika dibandingkan dengan pengukuran pada rangka utama.
- Penempatan tumpuan yang tidak persis sama seperti kondisi tumpuan dari software karena sulitnya memposisikan tumpuan dengan sempurna.
- Terdapat perbedaan *bonding* atau sambungan pada rangka dan software, pada software sambungan pengelasan diasumsikan dalam kondisi ideal dimana kampuh sekeliling penyambungan memiliki besar yang sama namun pada kenyataannya, kampuh hasil pengelasan pada rangka tidak memiliki besar yang sama.
- Pada software diasumsikan bahwa setelah pengelasan, rangka tidak memiliki tegangan dalam akibat pengelasan. Untuk mendapatkan rangka dengan kondisi seperti itu sebaiknya setelah proses pengelasan pada rangka, rangka kemudian dilakukan proses *heat treatment stress relieve* untuk menghilangkan tegangan dalam, pada rangka akibat pengelasan.
- Kondisi pemberian beban pada titik-titik yang ditentukan pada rangka tidak sama persis dengan titik pembebanan pada *software*.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tugas akhir kali ini dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

- a. bahwa rangka kendaraan telah berhasil dibuat dengan memenuhi beberapa point, yaitu rangka kendaraan telah berhasil dibuat dengan memenuhi daftar

tuntutan yang didapat dari hasil pengamatan terhadap regulasi perlombaan, adapun point-point yang sudah dapat dipenuhi adalah:

1	Rangka dapat mengakomodir batas ketinggian mobil (1000 mm – 1300 mm)
2	Rangka dapat mengakomodir batas lebar mobil (1000 mm – 1300 mm)
3	Rangka dapat mengakomodir batas panjang kendaraan (2200 mm - 3300 mm)
4	Rangka dapat mengakomodir batas <i>track width</i> (depan 1000mm, belakang 800 mm)
5	Rangka dapat mengakomodir <i>wheelbase</i> minimum (1200 mm)
6	Rangka dapat mengakomodir ukuran <i>cockpit</i> minimum (Tinggi 800 mm dan Lebar minimum 700 mm pada bagian bahu pengemudi)
7	Rangka dapat mengakomodir <i>ground clearance</i> minimal (100 mm)
8	Rangka dapat menahan beban pengemudi, mesin, beban pengetesan <i>rollbar</i> , beban aki serta beban bodi
9	Rangka lebih ringan dari rangka tahun sebelumnya

Untuk point “Rangka dapat mengakomodir kemudahan pengemudi untuk keluar dari mobil dibawah 10 detik” dibutuhkan pembuktian lebih lanjut dengan cara memasang sistem kemudi lalu melakukan test keluar masuk mobil oleh pengemudi sembari di catat waktu pengemudi keluar dari mobil.

- b. Rancangan kuat menerima beban yang terjadi hal tersebut terlihat dari hasil pengukuran data defleksi yang terjadi data error terbesar adalah 4,21% jika dibandingkan dengan data hasil validasi yang dilakukan oleh Autodesk yang sebesar 4.35% maka proses pengujian sudah tepat.

- c. Rancangan rangka lebih ringan dari rancangan rangka sebelumnya. Rangka rancangan yang baru memiliki bobot seberat 10,32 kg. Jika dibandingkan dengan berat rangka sebelumnya yang seberat 12 kg maka dapat dikatakan rangka rancangan yang baru lebih ringan dari rangka sebelumnya

6. Daftar Pustaka

- Ertas,A., & Jesse C. Jones. (1993). *The Engineering Design Process*. Texas : John Wiley & Sons
- Hanoto,B.I. (1982). *Ilmu Kekuatan Bahan*. Bandung : TEDC BANDUNG
- L.G.Kraig,J. (2002). *Engineering Mechanic Statics Volume 1, 5th edition*. New York : John Wiley & Sons, INC.
- Popov.(1996). *Mechanics of materials*. Jakarta : Erlangga
- Adam,H., (1993). *Chassis Engineering: Chassis design, building & tuning for high performance handling*.California : HPBooks
- Gscheidle, R. (2009). *Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik*. Stuttgart : Verlag Europa-Lehrmittel
- Aird, Forbes. (2008). *The Race Car Chassis*.California : HP Books