

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Darade (2013) tentang investigasi dari performa dan emisi bahan bakar *CNG* pada *VCR Engine* menyatakan bahwa *brake specific fuel consumption (BSFC)* didefinisikan sebagai bahan bakar yang dikonsumsi untuk satu kilowatt power generation dalam satu jam, untuk motor dengan bahan bakar *CNG* selalu lebih rendah dari gasoline dan *LPG* sepanjang rentang kecepatan. Hal ini disebabkan oleh nilai kalor yang *CNG* yang lebih tinggi (49 MJ/kg) dibandingkan dengan yang ada pada gasoline (43 MJ/kg), & *LPG* (45 MJ/Kg) dan pembakaran lambat *CNG* dibandingkan dengan yang gasoline. Pada beban yang lebih tinggi, dengan kecepatan konstan 2500 rpm dan variasi rasio kompresi, pengamatan terhadap rasio kompresi yang lebih rendah, *BSFC* untuk *CNG* terpantau lebih tinggi, tetapi dengan penambahan rasio kompresi *BSFC* menurun, *specific fuel consumption* untuk *CNG* terpantau paling rendah saat rasio kompresi 8 dan kondisi pembebanan lebih tinggi. *BSFC* untuk *LPG* lebih tinggi dibanding dengan *CNG*.

(Anton, 2013) melakukan penelitian tentang perbandingan gas buang kendaraan bermotor berbahan bakar bensin dan *LPG* dengan converter kit dual fuel sebagai pengatur *LPG* pada motor kapasitas 150cc menyatakan bahwa saat penggunaan bahan bakar *LPG* konsumsi bahan bakar mengalami penurunan. Penurunan konsumsi bahan bakar mencapai 14,93 % pada pengujian jarak tempuh 5 km dan kondisi jalan yang sama. Hal tersebut disebabkan stoikiometri dan nilai kalor yang berbeda antara bahan bakar premium dan *LPG*. Pada satuan berat stoikiometri bahan bakar premium 1:15,1 sedangkan pada *LPG* 15,52 : 1 dari hal tersebut dapat disimpulkan untuk membakar *LPG* dengan jumlah berat yang sama dengan premium memerlukan lebih banyak udara dibandingkan premium.

(Aslam, 2015) dalam penelitiannya yaitu perbandingan evaluasi kinerja dan emisi dari mobil *Spark Ignition Engine* menyatakan bahwa *BSFC* untuk *CNG* selalu di bawah gasoline sepanjang rentang kecepatan, hal ini dapat dikaitkan dengan fakta bahwa *heating value* dari *CNG* lebih tinggi sekitar 12% dibanding dengan gasoline. Nilai *BSFC* terendah diukur pada 3500 rpm untuk kedua bahan bakar, pada 323 gm/kWh dan 264 gm/kWh.

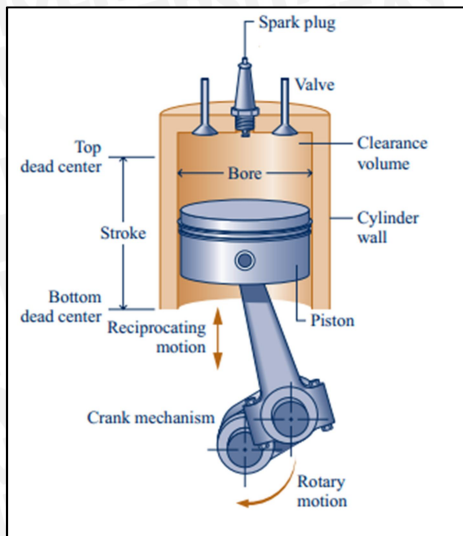
Sedangkan rata-ratanya *BSFC* untuk *CNG* berada sekitar 18% dibawah gasoline. Variasi *BSFC* dengan kecepatan konstan 2500, 3000 dan 3500 rpm, masing-masing dengan variabel beban mesin 25% sampai 65% dari beban penuh. Penyebab peningkatan drastic *BSFC* dengan pengurangan beban adalah gaya gesek pada dasarnya tetap konstan, saat daya indikasi sedang berkurang. Jadi, gaya pengereman turun lebih cepat dari konsumsi bahan bakar, dan dengan demikian *BSFC* naik. *BSFC* terendah dicapai pada 65% dari pembebanan total untuk gasoline dan *CNG*, yaitu 331,336 & 348 gm/kWh untuk gasoline dan 282,285 & 285 gm/kWh untuk *CNG*. Ditemukan bahwa *BSFC* untuk kedua bahan bakar meningkat perlahan dengan penambahan kecepatan. Sebagai beban tetap, laju dari penambahan gaya gesek dengan kecepatan the rate of increase of friction power with speed lebih dari itu daya indikasi dalam kondisi ini, yang menghasilkan *BSFC* lebih. Perbedaan *BSFC* untuk gasoline dan *CNG* di tiga kecepatan yang berbeda, bervariasi sedikit dan menunjukkan perbedaan rata-rata 17,3%.

2.2 Motor Bensin

Motor bensin (*petrol engine*) merupakan suatu mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dimana merubah kalor yang berasal dari bahan bakar gasoline (bensin) menjadi energi mekanik berupa putaran poros engkol. Motor bensin masuk dalam motor bakar torak, yang menggunakan satu atau beberapa silinder yang didalamnya terdapat torak yang bergerak translasi atau bolak balik untuk tempat terjadinya pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen dari udara. Gas hasil dari proses pembakaran tersebut mampu menggerakkan torak yang oleh batang penghubung dihubungkan dengan poros engkol. Sehingga gerak translasi torak menyebabkan gerak rotasi atau putaran pada poros engkol dan sebaliknya.

(Arismunandar, 2005:1)

Menurut Arismunandar, sistem penyalan mesin bensin menggunakan loncatan api listrik antara elektroda busi. Karena itu motor bensin juga memiliki nama lain *Spark Ignition Engines*.



Gambar 2.1 Motor Bensin Torak 4 Langkah

Sumber : Moran (2011:494)

Ditinjau dari langkah kerjanya, motor bensin torak dibagi menjadi dua jenis yaitu motor bensin 4 langkah dan motor bensin 2 langkah, menggunakan torak yang bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) untuk memutar poros engkol satu kali (360° sudut engkol). Sehingga pada motor bakar 4 langkah untuk melengkapi siklus pembakarannya dengan satu kali pembakaran, menggunakan dua putaran poros engkol, sedangkan pada motor bakar 2 langkah untuk melengkapi siklus pembakarannya dengan satu kali pembakaran, menggunakan satu kali putaran poros engkol.

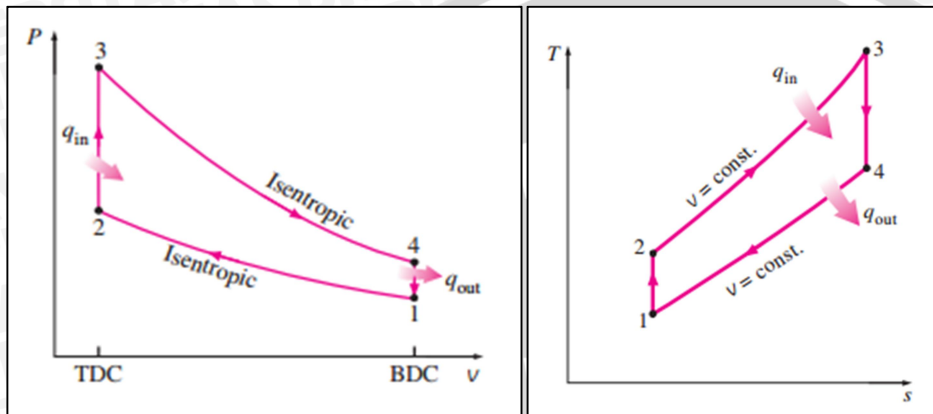
(Arismunandar, 2005:9)

2.2.1 Siklus Termodinamika Motor Bensin

Kebanyakan peralatan penghasil energi beroperasi pada suatu siklus, pembelajaran dari siklus tersebut adalah bagian yang penting dari termodinamika. Siklus aktual yang ditemukan pada peralatan tersebut sangat sulit untuk dianalisa karena adanya efek yang menyulitkan, seperti gesekan dan tidak adanya kondisi kesetimbangan selama siklus. Karena itu untuk memudahkan menganalisisnya, siklus motor bakar didekati dalam bentuk siklus udara standar (*air standar cycle*). Dalam siklus ini fluida kerja yang dipakai adalah udara dan pembakaran bahan bakar digantikan dengan pemberian kalor dari luar. Sedangkan pendinginan dipakai untuk mengembalikan fluida kerja (udara) pada kondisi awal. Pada proses siklus udara standar dalam motor bakar merupakan proses ideal, yaitu proses reversibel internal. Pada motor bensin siklus udara standar yang dimaksud adalah siklus *otto*.

2.2.2 Siklus Otto

Siklus otto merupakan siklus ideal untuk motor bensin (*spark ignition engines*). Siklus ini dinamai demikian setelah Nikolaus A. Otto sukses membangun motor bakar 4 langkah pada tahun 1876 di Jerman mengacu pada siklus yang diajukan oleh Frenchman Beau de Rochas di tahun 1862.
(Cengel 2006:494)



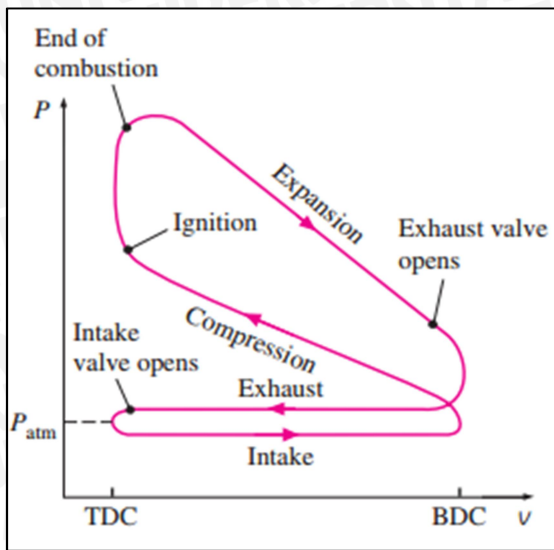
Gambar 2.2 Diagram P vs. v dan T vs. s dari siklus otto ideal

Sumber : Cengel (2006:496)

Pada siklus *otto* saat pemasukan dan pengeluaran panas terjadi pada volume yang konstan, sehingga siklus ini memiliki nama lain siklus udara volume konstan. Saat piston berada di posisi atas atau *top death centre (TDC)* terjadi pemasukan panas (q_{in}), sedangkan pengeluaran panas (q_{out}) terjadi saat piston berada di posisi bawah atau *bottom death centre (BDC)*. Siklus *otto* dapat digambarkan dalam diagram P vs. v dan diagram T vs. s pada gambar 2.2.

Baik motor bakar 4 langkah maupun 2 langkah memiliki siklus ideal yang sama, yaitu siklus otto, dengan langkah kerja sebagai berikut:

1. Proses 1-2 merupakan langkah kompresi dalam keadaan entropi konstan (*isentropic compression*).
2. Proses 2-3 merupakan langkah pemasukan kalor pada volume konstan (*isochoric heat addition*).
3. Proses 3-4 merupakan langkah ekspansi dalam keadaan entropi konstan (*isentropic expansion*).
4. Proses 4-1 merupakan langkah pengeluaran kalor pada volume konstan (*isochoric heat rejection*).

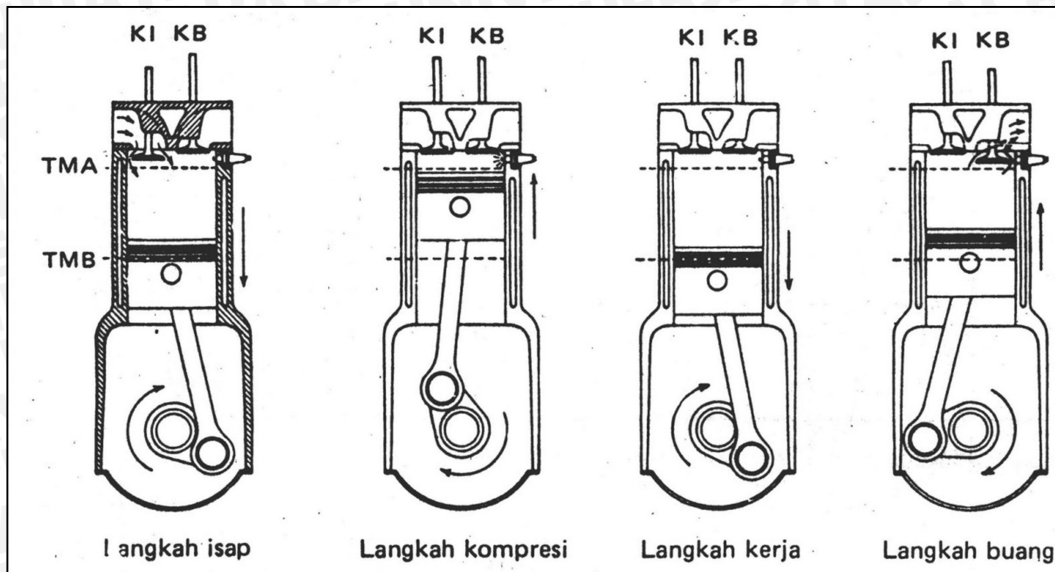


Gambar 2.3 Diagram P vs. v dari siklus *otto* aktual

Sumber : Cengel (2006:494)

5. Dalam kenyataannya tiada satu siklus pun merupakan siklus *otto* ideal, karena banyak ditemukan banyak penyimpangan dari siklus tersebut (aktual). Dikarenakan selama proses siklus berlangsung, fluida kerja yang dipakai bukan udara, melainkan bahan bakar bercampur udara sehingga tidak dapat dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan. Selain itu akibat dari penyekatan cincin torak dan katup yang tidak sempurna, terjadi kebocoran fluida kerja.

2.2.3 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah



Gambar 2.4 Skema gerakan torak dan katup motor 4-Langkah

Sumber : Arismunandar (2005:8)

Dimana

KI : Katup Isap

KB : Katup Buang

TMA : Titik Mati Atas

TMB : Titik Mati Bawah

a. Langkah hisap

Campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder dengan terbukanya katub isap dan katub buang dalam keadaan tertutup. Hal ini terjadi karena torak bergerak dari posisi TMA menuju TMB.

b. Langkah kompresi

Kedua katub, baik katub isap maupun katub buang dalam keadaan tertutup, sehingga campuran udara dan bahan bakar terperangkap dalam silinder. Torak yang tadinya berada di TMB akibat langkah isap, bergerak kembali menuju TMA, mengakibatkan volume campuran udara dan bahan bakar menjadi kecil sehingga tekanan dan temperaturnya naik. Dalam keadaan inilah campuran udara dan bahan bakar tersebut mudah terbakar.

c. Langkah ekspansi

Dengan katub isap dan katub buang masih dalam keadaan tertutup, saat torak hampir menuju TMA terjadi pembakaran campuran udara dan bahan bakar tadi oleh pantikan bunga listrik yang dihasilkan oleh busi. Akibat pembakaran tersebut volume dalam silinder bertambah dan tekanan berkurang. Gas hasil pembakaran tadi mampu mendorong torak untuk turun menuju TMB.

d. Langkah buang

Gas pembakaran keluar dari dalam silinder dengan terbukanya katub buang dan katub isap dalam keadaan tertutup. Gas tersebut keluar dengan bantuan torak yang awalnya berada di TMB menuju ke TMA.

2.2.4 Pembakaran Pada Motor Bensin

Pembakaran merupakan suatu reaksi kimia yang disebabkan oleh energy aktivasi dari luar, antara bahan bakar dan pengoksidasi. Diawali oleh proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu (energi aktivasi) dari luar, menjadi atom-atom yang bermuatan dan aktif sehingga mampu bereaksi dengan oksigen dan membentuk ikatan molekul-molekul yang kuat yang mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar.

(Wardana, 2008)

Syarat terjadinya pembakaran ada 3, yaitu :

1. Bahan bakar
2. Pengoksidasi (oksigen atau udara)
3. Energi aktivasi

Proses pembakaran motor bensin dapat dibagi menjadi tiga bagian: (1) percikan dan pengembangan api, (2) rambat api, dan (3) pemutusan api. Pengembangan api umumnya mengkonsumsi 5% dari campuran udara-bahan bakar. Selama masa pengembangan api, terjadi percikan dan proses pembakaran dimulai, terjadi sedikit peningkatan tekanan atau bahkan diabaikan, energi yang dihasilkan juga sedikit. Selanjutnya pada proses perambatan api, hampir semua tenaga yang dihasilkan dalam siklus mesin. Pada proses ini sebagian besar massa bahan bakar dan udara dibakar (sekitar 80-90%). Selama proses ini, tekanan di silinder sangat meningkat, dan ini memberikan tenaga untuk menghasilkan langkah ekspansi. Sisa 5% dari massa udara dan bahan bakar diklasifikasikan dalam proses pemutusan api. Pada proses ini, tekanan menurun dengan cepat dan pembakaran berhenti.

(Pulkrabek, 1997)

Dalam sebuah motor bensin, pembakaran idealnya terdiri dari api subsonik eksotermis melalui campuran udara dan bahan bakar yang homogen. Penyebaran api meningkat disebabkan oleh turbulensi, *swirl*, dan *squish* dalam silinder. Kombinasi yang tepat dari bahan bakar dan karakteristik motor yang sedemikian rupa sehingga detonasi dapat dihindari.

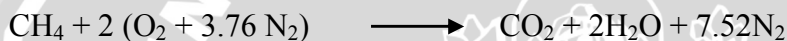
Secara umum persamaan reaksi pembakaran dapat dituliskan sebagai berikut:

Bahan bakar + Oksidator (O_2) \longrightarrow Produk Pembakaran (reaktan)

Proses pembakaran secara teoritis bahan bakar bensin (iso-oktan) dapat dilihat pada reaksi dibawah ini:



Proses pembakaran teoritis bahan bakar metana CH_4 dapat dilihat pada reaksi dibawah ini:



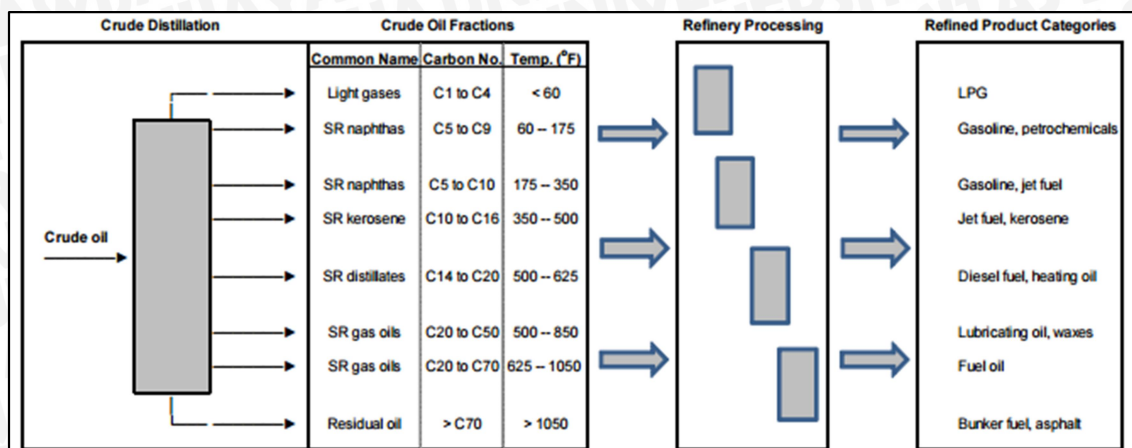
Pembakaran dapat dikatakan sempurna jika seluruh kandungan karbon (C) dan hydrogen (H) dalam bahan bakar habis terbakar menjadi karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O). Ketika busi mengeluarkan api listrik, yaitu beberapa saat sebelum torak mencapai TMA, disaat itulah campuran udara dan bahan bakar mula-mula terbakar, sehingga bahan bakar tidak terbakar sendiri.

Pembakaran yang tidak sempurna menimbulkan adanya detonasi. Adanya kemungkinan bagian campuran tersebut terakhir, karena terdesak oleh penekanan torak maupun oleh gerakan nyala api pembakaran yang merambat dengan cepat itu, temperaturnya dapat melampaui temperatur penyalaan sendiri sehingga akan terbakar dengan cepatnya (meledak). Proses terbakar sendiri dari bagian campuran yang terakhir (terjatuh dari busi) dinamai detonasi. (Arismunandar 2005:82). Hal ini mengakibatkan energi yang dimanfaatkan tidak maksimal.

2.3 Bahan Bakar Motor Bensin

Bahan bakar adalah suatu materi yang akan dirubah menjadi energi oleh reaksi eksotermal pada proses pembakaran. Kandungan utama dalam bahan bakar adalah karbon (C) dan hidrogen (H). Sedangkan kandungan minoritas bahan bakar adalah nitrogen (N), Sulphur (S), oksigen (O_2), karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) (Wardhana, 2008). Pada motor bensin terdapat dua jenis bahan bakar yang digunakan yaitu bahan bakar minyak dan bahan bakar gas. Bahan bakar yang sering digunakan pada motor bensin saat ini adalah

bahan bakar minyak. Bensin yang digunakan sebagai bahan bakar didapatkan dari proses destilasi bertingkat dari minyak bumi yang dirubah menjadi berbagai jenis bahan bakar seperti bensin, solar, kerosin, minyak diesel, dll.



Gambar 2.5 Proses destilasi minyak bumi

Sumber : Ictt (2011:12)

2.3.1 Bahan Bakar Minyak

Bahan bakar minyak (*petroleum*) berasal dari kata Petro yang berarti batu dan leaum yang berarti minyak, merupakan sumber energi yang tersusun atas campuran molekul karbon (C) dan hidrogen (H) dalam bentuk cairan, yang berasal dari sumur pengeboran minyak mentah. Selanjutnya minyak mentah tersebut diolah dengan proses tertentu untuk menghasilkan berbagai macam bahan bakar. Bahan bakar mentah tadi berasal dari bahan organik berupa sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang mengendap dan terperangkap selama jutaan tahun.

Akibat tekanan dan temperatur dalam kerak bumi yang berubah-ubah akhirnya berubah menjadi minyak dalam suatu wadah.

Pada motor bensin (*spark ignition engines*) bahan bakar yang dipakai adalah gasoline atau bensin, di Indonesia lebih dikenal dengan premium, pertalite, pertamax, pertamax plus yang merupakan produk dari Pertamina. Berikut beberapa properties dari gasoline.

Tabel 2.1

Properties Gasoline

Properties	Gasoline
Density at 15°C (kg/m ³)	750
Normal Boiling Point (°C)	39.7-212.2
Viscosity at 40°C (mm ² /s)	0.8
Reid Vapor Pressure at 37.8°C (kPa)	63.8
Gross Heating Value (MJ/kg)	46.28
Mean Wear Scar Diameter (µm)	639
Sulfur (ppmw)	10
Water (ppmw)	208

Sumber: John (2011)

Tabel 2.2

Koefisien Ekspansi Termal Beberapa Zat Cair

Material	$\beta(K^{-1})$
Mercury	18×10^{-5}
Glycerin	49×10^{-5}
Gasoline	95×10^{-5}
Ethanol	75×10^{-5}
Carbon disulfide	115×10^{-5}

Sumber: Sears (2012)

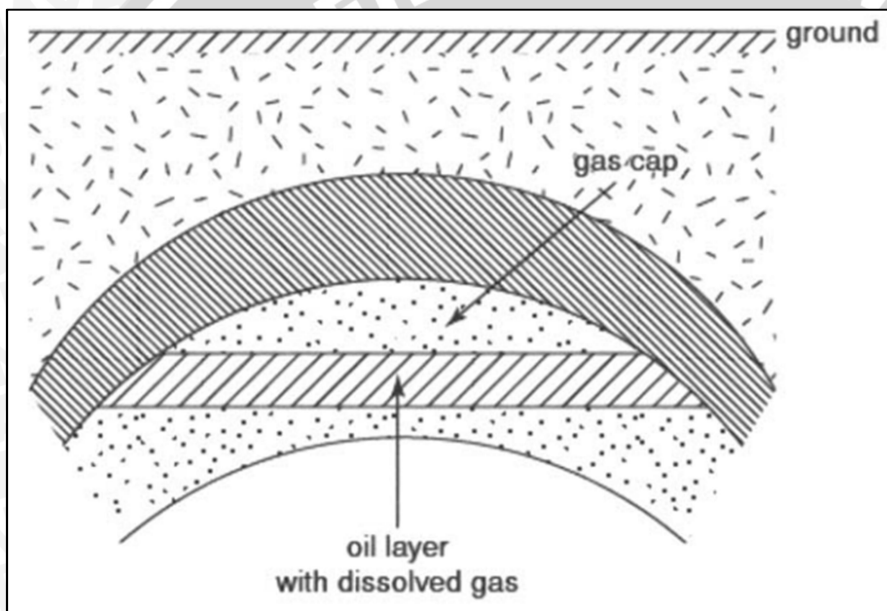
2.3.2 Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas adalah gas bumi yang transparan, tidak berwarna yang berasal dari sumur-sumur pengeboran minyak dan batu bara secara alami maupun gasifikasi. Bahan bakar gas dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu gas alam (*natural gas*) dan *manufacturer gas*. Contoh dari gas alam adalah metana, sedangkan contoh dari *manufacturer gas* adalah LPG. Kandungan bahan bakar gas yang mudah terbakar adalah senyawa CH₄ dan H₂ dengan komposisi yang berbeda-beda sesuai dengan jenis bahan bakarnya (Wardana, 2008).

Gas alam atau yang disebut juga *natural gas* atau *marsh gas* atau *swamp gas* merupakan bahan bakar fosil gas yang ditemukan di ladang minyak, ladang gas alam, atau penambangan batu bara. Adalah salah satu energi yang terbersih dan teraman dari

kebanyakan sumber energi yang digunakan, ia merupakan komponen vital dari kebutuhan energi dunia. Saat di gabungkan dengan kebanyakan bahan bakar fosil dan sumber energi lainnya, ada banyak karakteristik yang membuatnya unik.

Gas alam adalah hasil dari sisa hewan dan tumbuhan (bahan organik) yang berlangsung selama lebih dari jutaan tahun yang lalu. Selama waktu itu, tanah dan lumpur menutupi bahan organik tersebut merubahnya menjadi batu dan terjebak dibawah oleh endapan batu. Tekanan dan panas tak terkontrol dari kerak bumi merubah beberapa sisa organik tersebut menjadi batu bara, minyak (petroleum) dan gas alam. Gas alam sendiri ditemukan di dalam reservoir, dibawah permukaan bumi dan seringkali berdekatan dengan petroleum.



Gambar 2.6 Reservoir yang mengandung minyak dan gas

Sumber : Speight (2007:64)

Dalam penggunaannya, gas alam memerlukan distribusi. Distribusi gas alam yang efektif terletak pada sistem transportasinya dari produsen ke konsumen. Dibanyak kasus, gas alam diproduksi dari daerah tertentu dan harus melewati jarak jauh untuk mencapai konsumen. Dengan demikian distribusi dari gas alam berhubungan dengan cara penyimpanannya, karena ketika gas tidak dibutuhkan segera, penyimpanan gas dapat menjaganya sampai saat yang dibutuhkan. Banyak cara yang bisa digunakan untuk mendistribusikan gas alam dari tempat produksi menuju pasar, antara lain: jalur pipa, *liquefied natural gas (LNG)*, *compressed natural gas (CNG)*, *gas to solids (GTS)*; contoh

hidrat), *gas to power* (GTP; contoh elektrisitas), *gas to liquid* (GTL). Distribusi gas alam menggunakan hidrat atau *compressed natural gas* dipercaya dapat dilakukan dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan *liquefied natural gas* dan jika jalur pipa tidak memungkinkan.

2.4 CNG

Gas dapat didistribusikan melalui container dengan tekanan tinggi, biasanya 1800 psi untuk *rich gas* (ethane, propane, dll) dan kira-kira 3000 psi untuk *lean gas* (utamanya methane). Gas alam dengan kompresi yang demikian disebut *compressed natural gas* (CNG). CNG digunakan di beberapa negara untuk kendaraan transportasi sebagai alternatif pengganti bahan bakar konvensional (gasoline atau diesel). CNG membutuhkan volume yang lebih besar untuk menyimpan dengan massa yang sama dari gas alam dan menggunakan tekanan yang sangat tinggi sekitar 200 bar atau 2900 psi.

Keuntungan CNG jika dibandingkan dengan bensin antara lain: pembakaran unik dan susunan campuran yang cocok dikarenakan nilai oktan yang tinggi dari CNG, motor beroperasi halus dengan kompresi tinggi tanpa adanya detonasi, CNG dengan *lean burning quality* akan mendorong untuk rendahnya emisi gas buang dan biaya operasional bahan bakar, CNG mempunyai kecepatan pembakaran yang rendah dan ketahanan motor yang tinggi. (Jahirul et al, 2010). Komposisi dari CNG dapat dilihat dari tabel berikut

Tabel 2.3
Komposisi tipikal (Vol %) dari CNG

Component	Symbol	Volumetric %
Methane	CH ₄	94.42
Ethane	C ₂ H ₆	2.29
Propane	C ₃ H ₈	0.03
Butane	C ₄ H ₁₀	0.25
Nitrogen	N ₂	0.44
Carbon dioxide	CO ₂	0.57
Others	-	2

Sumber : Gopal (2012:93)

Properties dan karakteristik dari CNG ditunjukkan dalam tabel 2.4 berikut

Tabel 2.4

Properties dan karakteristik CNG

CNG Properties	Value
Density (kg/m ³)	0.72
Flammability limits (volume % in air)	4.3-15
Flammability limits (Ø)	0.4-1.6
Autoignition temperature in air (°C)	723
Minimum ignition energy (mJ) ^b	0.28
Flame velocity (ms ⁻¹) ^b	0.38
Adiabatic flame temperature (K) ^b	2214
Quenching distance (mm) ^b	2.1
Stoichiometric fuel/air mass ratio	0.069
Stoichiometric volume fraction %	9.48
Lower heating value (MJ/kg)	45.8
Heat of combustion (MJ/kg _{air}) ^b	2.9

Sumber : Semin (2008:303)

Dalam tabel 2.5 berikut perbandingan properties dari bahan bakar konvensional dengan bahan bakar alternatif

Tabel 2.5

Properties bahan bakar konvensional dan alternatif

<i>Property</i>	<i>Gasoline</i>	<i>Diesel</i>	<i>Metbanol</i>	<i>Etbanol</i>	<i>Propane (LPG)</i>	<i>Methane (CNG)</i>
H/C ratio	1.9	1.88	4.0	3.0	2.7	4.0
Energy content (LHV) (MJ/kg)	44.0	42.5	20.0	26.9	46.4	50.0
Liquid density (kg/l)	0.72-0.78	0.84-0.88	0.792	0.785	0.51	0.422
Liquid energy density (MJ/l)	33.00	36.55	15.84	21.12	23.66 ^a	21.13 ^b
Boiling point (°C)	37-205	140-360	65	79	-42.15	-161.6
Research Octane Numbers	92-98	~25	106	107	112	120
Motor Octane Numbers	80-90	-	92	89	97	120
Cetane Numbers	0-5	45-55	5	5	~2	0
Stoichiometric air-fuel ratio	14.7	14.6	6.5	9.0	15.7	17.2
Reid Vapor Pressure (psi)	8-15	0.2	4.6	2.3	208	2,400

Sumber : Faiz (1966:195)

2.5 Konsumsi Motor Bensin

Konsumsi bahan bakar adalah banyaknya bahan bakar yang dipakai selama proses pembakaran berlangsung. Tingkat keekonomisan dari suatu motor dapat diukur dari besar kecilnya konsumsi bahan bakar. Semakin besar atau banyak konsumsi bahan bakar berarti tingkat keekonomisan dari motor tersebut semakin rendah. Secara umum faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar adalah kecepatan. Pada kecepatan yang semakin meningkat maka pemakaian bahan bakar makin tidak menguntungkan karena akan semakin banyak bahan bakar yang dikonsumsi.

Ada dua cara untuk menunjukkan pemakaian bahan bakar. Salah satu diantaranya adalah dengan cara pemberitahuan bahwa mobil memakai sebanyak 1 dm^3 untuk 12 km (jadi 1:12). Cara lainnya adalah dengan pemberitahuan berapa banyak penggunaan bensin dalam dm^3 untuk jarak 100 km . Untuk motor dengan pemakaian 1 pada 12 dapat ditulis:

Pemakaiannya adalah $\frac{100}{12} \times 1 \text{ dm}^3 = 8\frac{1}{3} \text{ dm}^3 \text{ tiap } 100 \text{ km}$

(Arends, 1992:26)

Untuk menghitung konsumsi bahan bakar aktual dari kendaraan *urban concept* maka digunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$K_{BB} = s \times 1000 / m \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana

s : jarak yang ditempuh (km)

m : massa pengurangan bahan bakar (g)

2.6 Ekspansi Termal

Kebanyakan material mengalami penambahan volume atau panjang seiring bertambahnya temperatur. Lantai dari jembatan membutuhkan sambungan khusus untuk mengatasi penambahan tersebut. Pemasangan kabel pada tiang listrik yang kendur, semuanya adalah contoh dari ekspansi termal.

Penambahan temperatur biasanya mengakibatkan penambahan volume baik untuk benda padat maupun benda cair. Hal ini juga berlaku untuk bahan bakar, karena temperatur pada lingkungan tidak bisa dijaga terus konstan. Untuk menghitung penambahan volume tersebut digunakan rumus berikut:

$$V = V_0(1 + \beta\Delta T) \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana

- V : volume akhir (ml)
- V_0 : volume awal (ml)
- β : koefisien ekspansi ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
- ΔT : Perubahan temperature

2.7 Spesific Fuel Consumption

Konsumsi bahan bakar spesifik merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan efisiensi bahan bakar dari sebuah mesin. Konsumsi bahan bakar spesifik merupakan massa bahan bakar per satuan daya tiap waktunya. Dapat dinyatakan dalam rumus berikut

$$\text{SFC} = \frac{FC}{P} \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana

- SFC : *Specific Fuel Consumption* (kg/hp.jam)
- FC : *Fuel Consumption* (kg/jam)
- P : Daya (hp)

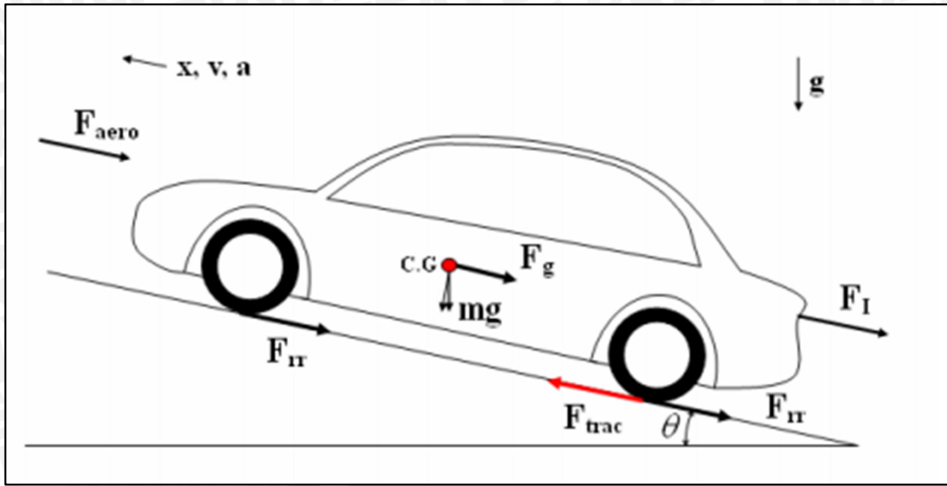
2.8 Daya Kendaraan

Daya kendaraan merupakan kemampuan kendaraan untuk bekerja mengangkat beban dalam kurun waktu tertentu. Daya kendaraan sering dinyatakan dalam bentuk Watt, atau bisa dinyatakan dalam bentuk lain yaitu hp (*horse power*) dan ps. Daya kendaraan bisa dihitung dengan mengkalikan gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan dengan kecepatannya.

$$P = \frac{F \times V}{745,7} \dots\dots\dots (2-4)$$

Dimana

- P : Daya Kendaraan (HP)
- F : Gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan (N)
- V : Kecepatan Kendaraan (m/s)



Gambar 2.7 Dinamika Kendaraan

Sumber: Jeongwoo Lee (2009)

Gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan bisa dinyatakan dalam berbagai gaya, antara lain gaya hambat udara, gaya tahan guling, gaya kemiringan dan gaya inersia.

$$F = F_{drag} + F_{rr} + F_{grad} + F_{inertia} \dots \dots \dots (2-5)$$

Dimana

- F_{drag} : Gaya hambat udara
- F_{rr} : Gaya *rolling resistant* (gaya tahan guling)
- F_{grad} : Gaya *gradient* (gaya kemiringan)
- $F_{inertia}$: Gaya *inertia*

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot V^2 \dots \dots \dots (2-6)$$

Dimana

- F_{drag} : Gaya hambat udara (N)
- ρ : Massa jenis udara (1,164 kg/m³)
- C_D : Koefisien Drag (0,25)
- A : Luas permukaan kontak (0,03936 m²)
- V : Kecepatan kendaraan (m/s)



$$F_{rr} = C_{rr} \cdot m \cdot g \cdot \cos(\theta) \dots\dots\dots (2-7)$$

Dimana

F_{rr} : Gaya *rolling resistant* (N)

m : Massa kendaraan (kg)

g : Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

θ : Kemiringan jalan

$$F_{grad} = m \cdot g \cdot \sin(\theta) \dots\dots\dots (2-8)$$

Dimana

F_{grad} : Gaya gradient

m : Massa kendaraan (kg)

g : Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

θ : Kemiringan jalan

$$F_{inertia} = m \cdot a \dots\dots\dots (2-9)$$

Dimana

m : Massa kendaraan (kg)

a : Percepatan kendaraan (m/s²)

2.9 Kalor Input

Kalor input adalah banyaknya kalor bahan bakar yang dipakai selama proses pengujian bahan bakar. Kalor input dinyatakan dalam km/MJ, yang berarti jarak terjauh yang dapat ditempuh kendaraan dengan satu MJ bahan bakar. Penghitungannya dengan membagi jarak tempuh kendaraan dengan hasil perkalian massa bahan bakar dengan nilai *LHV* bahan bakar.

$$Q_{input} = \frac{s}{m \cdot LHV_{BB}} \dots\dots\dots (2-10)$$

Q_{input} : Kalor input bahan bakar

s : Jarak tempuh kendaraan (km)

m : Massa bahan bakar (kg)

LHV_{BB} : Nilai kalor bahan bakar (MJ/kg)

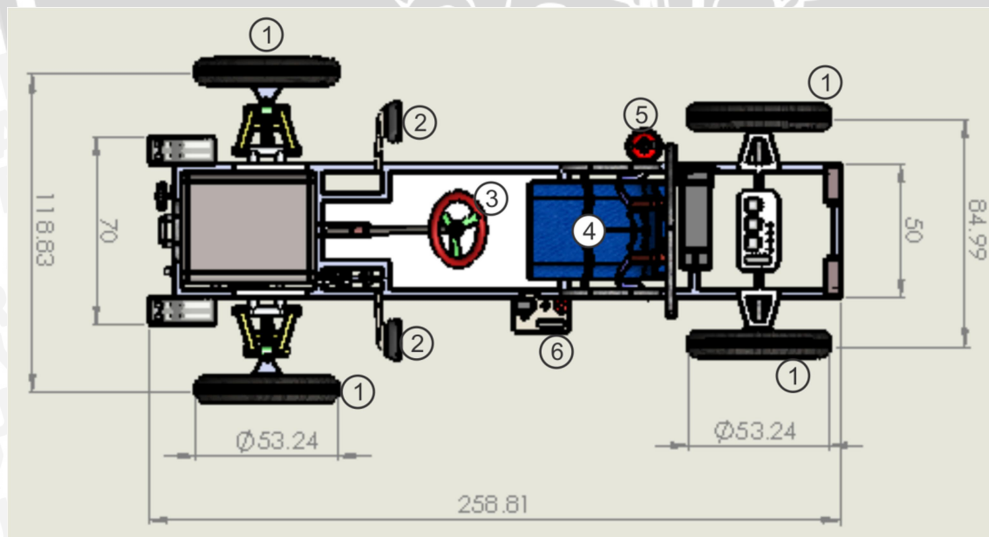
2.10 Kendaraan *Urban Concept*

Kendaraan *urban concept* adalah kendaraan dengan empat roda yang tampilannya mirip mobil pada umumnya dan sesuai untuk berkendara di jalan. Kendaraan *urban concept* didesain sedemikian rupa sehingga memiliki tingkat efisien yang tinggi, selain itu juga memiliki '*stop & go driving*' untuk menyerupai kondisi nyata di jalan.

Meskipun memiliki tingkat efisien yang tinggi, kendaraan *urban concept* memiliki tingkat keamanan yang memadai untuk menjamin keselamatan pengemudi. Parameter keamanan kendaraan yang dimaksud antara lain:

1. Sabuk keselamatan,
2. Kaca spion,
3. *Roll bar*,
4. Alat pemadam kebakaran,
5. Tombol darurat,
6. Helm pengemudi dan
7. Parameter tambahan lain mengacu pada '*SEM 2016 global rules*'

Chasis dan *body* kendaraan *urban concept* yang kami pakai untuk pengujian ini adalah Marsela Apatte62. Kendaraan ini sebelumnya pernah digunakan untuk *Indonesia Energy Marathon Challenge (IEMC) 2012* di Kenjeran, Surabaya.

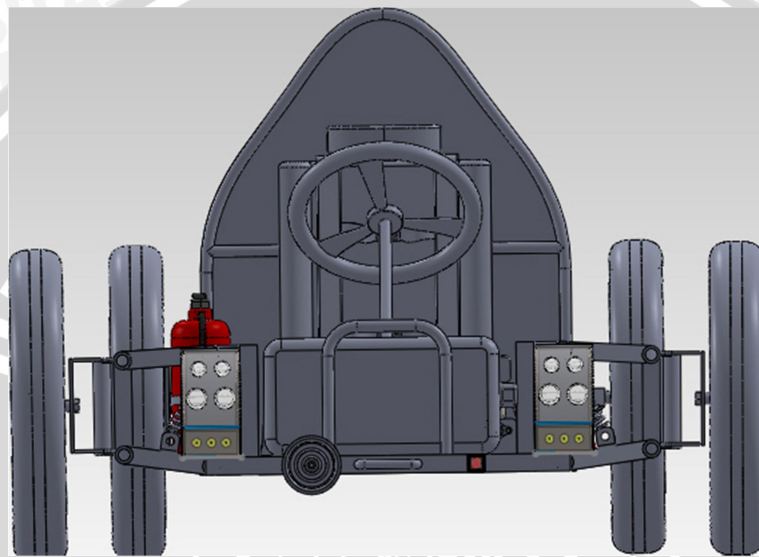


Gambar 2.8 Chasis Marsela Apatte62 tampak atas beserta dimensi dalam cm

Sumber : Apatte62 Doc

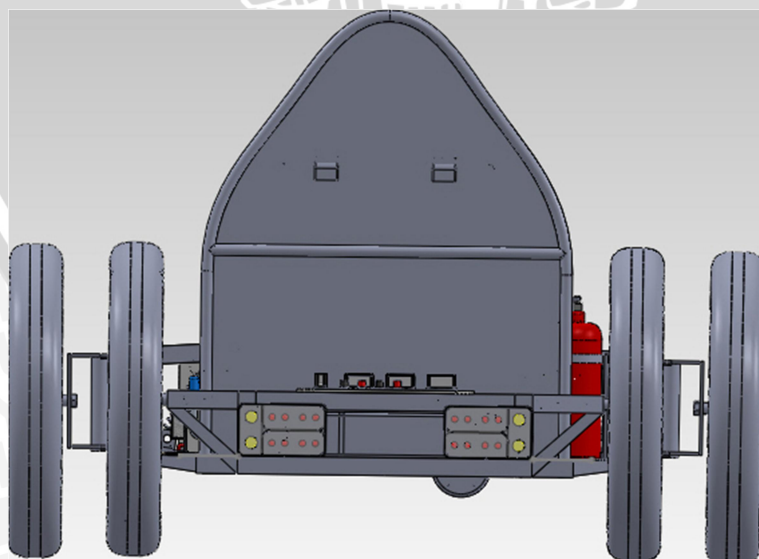
Keterangan

1. Roda
2. Kaca spion
3. Kemudi
4. Sabuk keselamatan
5. Tabung pemadam
6. Tombol darurat



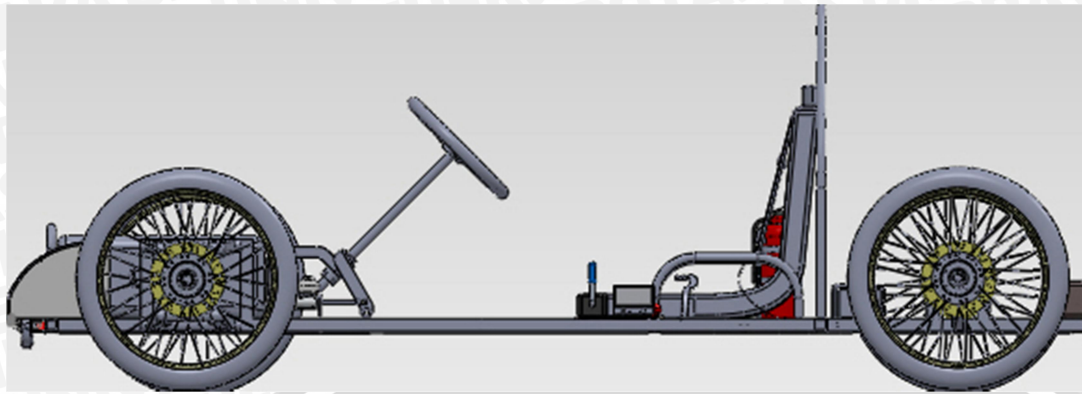
Gambar 2.9 Chasis Marsela Apatte62 tampak depan

Sumber : Apatte62 Doc



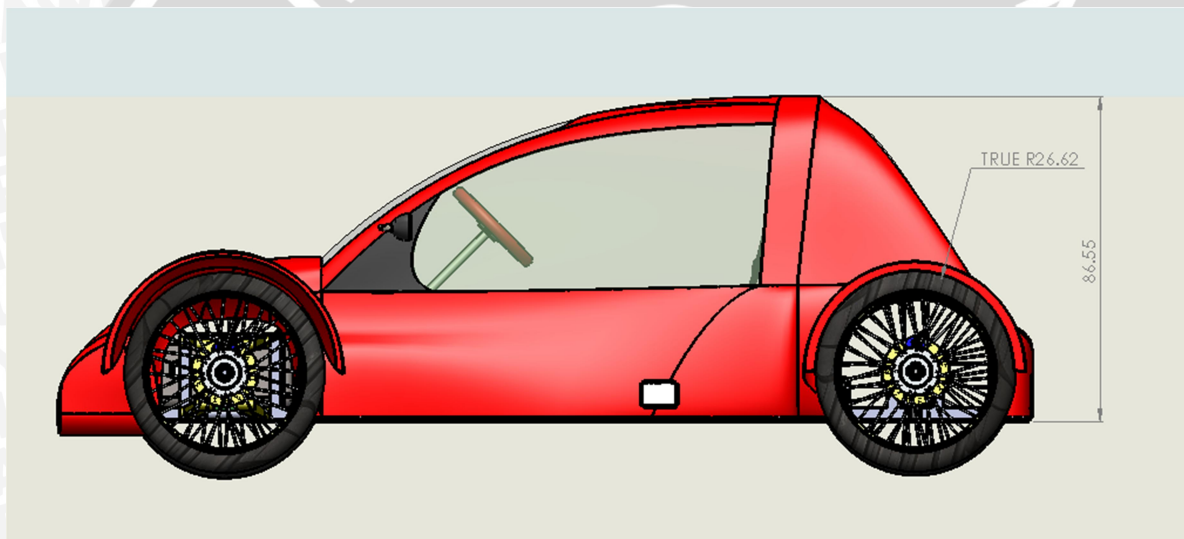
Gambar 2.10 Chasis Marsela Apatte62 tampak belakang

Sumber : Apatte62 Doc



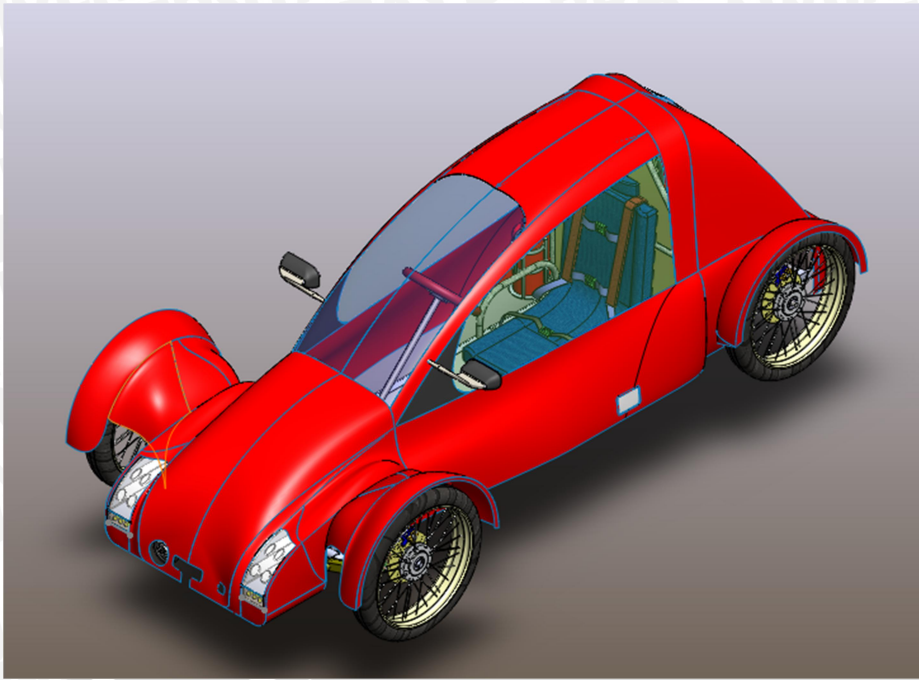
Gambar 2.11 Chasis Marsela Apatte62 tampak samping

Sumber : Apatte62 Doc



Gambar 2.12 Chasis dan body Marsela Apatte62 tampak samping beserta dimensi dalam cm

Sumber : Apatte62 Doc



Gambar 2.13 Chasis dan body Marsela Apatte62 tampak isometri

Sumber : Apatte62 Doc

2.11 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dijelaskan, penelitian ini memiliki hipotesa bahwa konsumsi bahan bakar *CNG* lebih kecil daripada konsumsi pertamax plus dengan pembebanan yang sama, nilai *SFC* pertamax plus lebih besar dari *CNG*, kalor input *CNG* lebih tinggi dibandingkan pertamax plus. Ketiga hal ini terjadi karena nilai kalor dari *CNG* lebih besar dibandingkan pertamax plus.