



TUGAS AKHIR - TF 181801

**DESAIN BENTUK *SIDEPOD* RADIATOR DAN
UNJUK KERJA *HEAT EXCHANGER* TIPE *TUBE
AND FIN* PADA *COOLING SYSTEM* MOBIL
FORMULA STUDENT MENGGUNAKAN METODE
*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

HAFIDH ALDIZA ARIFIN
NRP. 02311745000044

Dosen Pembimbing :
Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
Erna Septyaningrum, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - TF 181801

***RADIATOR SIDEPOD DESIGN AND
PERFORMANCE OF TUBE AND FIN HEAT
EXCHANGER FOR FORMULA STUDENT CAR
USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS
METHOD***

HAFIDH ALDIZA ARIFIN
NRP. 02311745000044

Supervisor :
Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
Erna Septyaningrum, S.T., M.T.

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Hafidh Aldiza Arifin
NRP : 02311745000044
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “DESAIN BENTUK SIDEPOD RADIATOR DAN UNJUK KERJA HEAT EXCHANGER TIPE TUBE AND FIN PADA COOLING SYSTEM MOBIL FORMULA STUDENT MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya,
Penulis,

Hafidh Aldiza Arifin
NRP. 02311745000044

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**DESAIN BENTUK *SIDEPOD* RADIATOR DAN UNJUK
KERJA *HEAT EXCHANGER* TIPE *TUBE AND FIN* PADA
COOLING SYSTEM MOBIL *FORMULA STUDENT*
MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS***

Oleh:

Hafidh Aldiza Arifin
NRP. 0231174500044

Surabaya,

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing 1**



Gunawan Nugroho S.T. M.T. P.hD
NIP. 19771127 200212 1 002

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing 2**



Erna Septyaningrum, S.T., M.T.
NPP. 1992201912073

**Menyetujui,
Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESAIN BENTUK *SIDEPOD* RADIATOR DAN UNJUK
KERJA *HEAT EXCHANGER* TIPE *TUBE AND FIN* PADA
COOLING SYSTEM MOBIL *FORMULA STUDENT*
MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS***





TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HAFIDH ALDIZA ARIFIN
NRP. 02311745000044

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., P.hD.  (Pembimbing 1)
2. Erna Septyaningrum, S.T., M.T.  (Pembimbing 2)
3. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA  (Penguji I)
4. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.  (Penguji II)

SURABAYA
JULI 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESAIN BENTUK *SIDEPOD* RADIATOR DAN UNJUK
KERJA *HEAT EXCHANGER* TIPE *TUBE AND FIN* PADA
COOLING SYSTEM MOBIL *FORMULA STUDENT*
MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS***

Nama : Hafidh Aldiza Arifin
NRP : 0231174500044
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing: Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
Erna Septyaningrum, S.T., M.T.

Abstrak

Dengan konfigurasi *rear engine mounted*, dimensi dan tempat radiator yang terbatas menjadikan mobil formula rawan terjadi *overheating* (suhu *water cooling* mencapai 120°C, optimal: 85-88°C). Dilakukan desain *sidepod* radiator pada mobil Sapuaringin speed 7 untuk mengoptimalkan kinerja *heat exchanger* tipe *Tube and fin*, perhitungan gaya *drag* dan *lift* beserta koefisien pada *sidepod* dan bodi dilakukan dengan metode Komputasi Dinamika Fluida untuk memperoleh bentuk *inlet ducting* dan dimensi *sidepod* yang tepat untuk siklus *heat rejection* dan menjaga suhu *water cooling* dalam kondisi ideal untuk kinerja mesin yang lebih baik, tidak *overheat* dan *overcooled*. Berdasarkan pengujian lapangan, didapatkan suhu rata-rata mesin dengan radiator yang saat ini mencapai 104°C, dilakukan perhitungan performa mesin terhadap *cooling system* menunjukkan adanya kekurangan kapasitas radiator. Kapasitas radiator yang tersedia hanya mampu memindahkan panas sebesar 8.764 kW, sedangkan secara teoritis mesin membutuhkan radiator dengan kapasitas minimal sebesar 37.986 kW. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa radiator yang dipakai saat ini perlu diganti dengan kapasitas yang lebih baik. Dilakukan desain bodi dan *sidepod* dimana kinerja dari radiator dipengaruhi oleh bentuk dan desain *sidepod*, dari desain yang telah dilakukan didapatkan aliran udara yang baik melewati celah antara

roda dan bodi depan sehingga aliran udara menuju radiator terbebas dari *wake* atau separasi aliran dari ban depan. Dari desain yang sudah dilakukan, didapatkan body dan *sidepod* dengan gaya hambat (*drag*) sebesar 28.758N, koefisien *drag* sebesar 0.49, gaya angkat (*lift*) sebesar -41.884N dan koefisien *lift* sebesar 0.135 pada kecepatan 14 m/s.

Kata Kunci: *Aerodynamics, Computational fluid dynamics, Heat Exchanger, Sidepod.*

***RADIATOR SIDEPOD DESIGN AND PERFORMANCE OF
TUBE AND FIN HEAT EXCHANGER FOR FORMULA
STUDENT CAR USING COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS METHOD***

Name : Hafidh Aldiza Arifin
NRP : 02311745000044
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Lecturer : Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
Erna Septyaningrum, S.T., M.T.

Abstract

With rear mounted engine configurations, the dimensions and place of the radiator are limited making car formula prone to overheating (cooling water temperature reach 120°C, optimal: 85-88°C). sidepod radiator design on Sapuangan Speed 7 was carried out to optimize the performance of radiator, the assessment of drag and lift forces on the sidepod and body was carried out using the Computational Fluid Dynamics method to obtain ducting inlets, angles of attack and sidepod shape that could used a better Cycle heat rejection and cooling water temperatur in ideal conditions for a better engine, not too hot and too cold. Based on field testing, the average engine temperatur with a radiator is up to 104 degrees Celsius, calculating the engine's performance on a cooling system which indicates a lack of radiator capacity. The available radiator capacity is only capable of flowing 8,764 kW, while the radiator requires a minimum capacity of 37,986 kW. Radiators used today need to be replaced with better capacity. The design of the body and sidepod where the design of the radiator is needed by the design and in the sidepod design, from the design that has been done is obtained good air flow through the separation of the wheels and front body to make the air flow to the radiator free from building or separating the flow from the front tire. what has been done, obtained by the body and sidepod with a drag of 28.758 N,

the drag coefficient is 0.49, the lift force is 41.884 N and the lift coefficient is 0.135 at vehicle speed 14m/s.

Keywords: Aerodynamics, Computational fluid dynamics, Heat Exchanger, Sidepod.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“DESAIN BENTUK SIDEPOD RADIATOR DAN UNJUK KERJA HEAT EXCHANGER TIPE TUBE AND FIN PADA COOLING SYSTEM MOBIL FORMULA STUDENT MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS”**. Tugas akhir ini membahas tentang kinerja radiator pada mobil Sapuangin speed yang kurang optimal, kemudian hasil perubahan geometri Body mobil dan juga Radiator terhadap performa kendaraan.

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika FTI ITS.
2. Bapak Gunawan Nugroho S.T., M.T., Ph.D., dan Erna Septyaningrum, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu dan bimbingan selama penulis menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Gunawan Nugroho S.T., M.T., Ph.D. selaku kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan.
4. Bapak Hendra Cordova M.T., selaku dosen wali yang telah memberikan pengalaman dan bimbingan selama penulis berkuliah di Teknik Fisika ITS.
5. Kedua orang tua, Bapak Zaenal Arifin dan (Alm) Diah Hari Prayogi beserta adik-adik saya yang memberikan motivasi, dukungan moril maupun materi dan doa kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
6. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Fisika ITS yang telah turut membantu penulis menyelesaikan kuliah.
7. Kepada teman-teman ITS Team Sapuangin yang menemani dan membantu pengerjaan tugas akhir bagi penulis

8. Kepada teman-teman Lintas Jalur Teknik Fisika 2017 yang telah membantu dan memberi pengalaman hidup bagi penulis selama berkuliah di Surabaya.
9. Kepada semua pihak yang telah terlibat dalam pengerjaan tugas akhir dan kehidupan penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca.

Surabaya, 14 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	xi
Abstract	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR SIMBOL	xxii
BAB I	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Radiator Kendaraan Bermotor	5
2.1.1 Prinsip Kerja	5
2.1.2 Bagian-bagian Radiator	6
2.2 Neraca Panas pada Mesin Pembakaran Dalam	6
2.3 Proses Perpindahan Panas pada Radiator	7
2.4 Analisa Radiator sebagai <i>Heat Exchanger</i>	8
2.5 Internal Flow	11
2.6 Eksternal Flow	13
2.7 Computational Fluid Dynamics	15
2.7.1 <i>Pre-Processing</i>	16
2.7.2 Solver and Processing	16
2.7.3 Post Processing	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	19
3.2 Studi Literatur	20
3.3 Simulasi Menggunakan Perangkat CFD	20

3.4	Analisa Data lapangan	27
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		31
4.1	<i>Grid Independency</i>	31
4.2	Data dan Perhitungan pada Radiator	32
4.3	Simulasi dengan Metode <i>CFD</i>	35
4.4	Gaya yang bekerja pada sekitar body mobil	40
BAB 5 PENUTUP		47
5.1	KESIMPULAN	47
5.2	SARAN	47
DAFTAR PUSTAKA		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Radiator kendaraan bermotor	5
Gambar 2.2 Sankey diagram Neraca Panas IC Engine	7
Gambar 2.3 Diagram analisis kekekalan energi pada radiator	8
Gambar 2.4 Faktor koreksi	10
Gambar 2.5 Tipikal Ducting pada cooling system	12
Gambar 2.6 Inlet Ducting radiator pada mobil Formula 1	12
Gambar 2.7 efek kecepatan kendaraan terhadap aliran	13
Gambar 2.8 aliran eksternal pada benda padat berupa airfoil	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian menggunakan CFD	19
Gambar 3.2 Tampak atas Mobil Sapuangan Speed 6	21
Gambar 3.3 desain sidepod 1	22
Gambar 3.4 desain sidepod 2	22
Gambar 3.5 desain sidepod 3	22
Gambar 3.6 Tampak atas Mobil Sapuangan Speed 7	23
Gambar 3.7 Penyederhanaan geometri body mobil	24
Gambar 3.8 Detail Meshing pada nose body	24
Gambar 3.9 Skewness mesh metric spectrum	25
Gambar 3.10 Diagram Alir perhitungan	29
Gambar 4.1 Distribusi tekanan didalam sidepod 1	35
Gambar 4.2 Distribusi kecepatan didalam sidepod 1	36
Gambar 4.3 Kontur tekanan pada internal Sidepod 2	37
Gambar 4.4 Kontur kecepatan udara pada internal Sidepod 2	37
Gambar 4.5 Distribusi tekanan didalam sidepod 3	39
Gambar 4.6 Distribusi kecepatan didalam sidepod variasi 3	39
Gambar 4.7 Streamlines aliran udara disekitar body.	41
Gambar 4.8 kontur distribusi kecepatan.	41
Gambar 4.9 Tampak samping mobil dengan $\alpha = 0^\circ$	43
Gambar 4.10 Grafik Gaya drag dan Lift	43
Gambar 4.11 Gaya sentrifugal pada benda	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil meshing simulasi	23
Tabel 3.2 Kondisi batas pada simulasi	24
Tabel 4.1 Tabel hasil <i>grid</i> independen	29
Tabel 4.2 Data pengujian lapangan	30
Tabel 4.3 Data perbandingan mass flowrate	40
Tabel 4.4 Data hasil simulasi menggunakan CFD	40

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Formula student adalah sebuah kompetisi membuat kendaraan di bawah naungan *Society of Automotive Engineer* (SAE) internasional yang diikuti oleh mahasiswa seluruh dunia. Perlombaan ini diadakan di beberapa Negara antara lain Jepang, Jerman, Inggris, Italia, Brazil, Amerika, dan Australia. Desain dan bentuk dari mobil dalam kompetisi ini menyerupai mobil formula, perlombaan ini dijadikan ajang pembelajaran dan penelitian teknologi mobil formula untuk tingkat mahasiswa.

Tim Sapuwing ITS mulai berpartisipasi di Student Formula japan sejak tahun 2012 dengan mobil Sapuwing speed 1. Pada tahun 2017 dan 2018, radiator mobil Sapuwing speed 5 dan 6 dinilai kurang mampu melepas panas yang dihasilkan mesin Kawasaki ZX-6R 600cc karena pada saat uji coba dengan kondisi terik, kendaraan mengalami gejala *overheating* secara terus menerus, gejala *overheating* dapat dilihat secara visual dan melalui *Data logger ECU*. Secara visual, *overheating* terlihat ketika air radiator keluar melalui tutup radiator menuju *overflow bottle*, sedangkan pada *Data logger*, terlihat bahwa temperature air mencapai suhu 120°C, maka dari itu dapat disimpulkan bahwa kondisi mobil saat ini mengalami *overheating* ketika dilakukan *Endurance running test*. Salah satu dari tiga kegagalan paling umum dari kendaraan balap Formula SAE selama kompetisi adalah *overheating* mesin [1].

Heat Exchanger atau Radiator pada mobil merupakan alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain, bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Penukar panas dirancang sedemikian mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya (*closed heat exchanger*) maupun keduanya bercampur langsung (*open heat exchanger*).

Pada kendaraan bermotor radiator pada umumnya terletak di depan dan berada didekat mesin atau pada posisi tertentu yang menguntungkan bagi system pendinginan. Hal ini bertujuan agar mesin mendapatkan pendinginan yang maksimal sesuai yang dibutuhkan mesin. radiator terdiri dari tangki air bagian atas (upper tank), tangki bagian bawah (lower water tank) dan radiator core pada bagian tengahnya.

Radiator sangat penting untuk menunjang kondisi mesin optimal dan tidak *overheat* maupun *overcooled*. *Overheat* pada mesin mengakibatkan mesin tidak bisa beroperasi atau macet secara mendadak karena kerusakan komponen , sedangkan jika terlalu dingin atau *overcooled* maka terjadi efek negatif pada power mesin dan konsumsi bahan bakar[2].

Penelitian optimisasi aliran udara pada radiator telah banyak dilakukan sebelumnya. Lasse Christoffersen dkk pada tahun 2009, dari Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden melakukan penelitian Optimisasi aliran udara dengan memodelkan 1 kendaraan utuh dan radiator sebagai daerah berpori (*porous zone*) untuk memodelkan penurunan tekanan yang terjadi sepanjang radiator, lalu *ducting* pada sisi *inlet* dan *outlet* divariasikan.

1.2 Perumusan Masalah

Pada mobil Sapuangin Speed 6 tahun 2018, terdapat indikasi *overheat* pada *coolant water* dikarenakan dimensi radiator kecil (untuk ukuran mesin kapasitas 200cc), *inlet ducting* yang kurang baik (terbuka penuh, dibelakang roda depan), dan radiator diletakan dengan sudut kemiringan yang condong kebelakang (melawan natural konveksi). Berdasarkan fenomena diatas, tugas akhir ini menganalisa beberapa hal yang meliputi:

1. Bagaimana desain yang baik agar mendapatkan laju aliran massa udara yang besar ?
2. Bagaimana pengaruh bentuk *body* terhadap gaya Aerodinamika pada body kendaraan , aliran udara disekitar sidepod dan inlet sidepod dengan metode CFD.

3. Bagaimana performa radiator dengan dimensi dan posisi sedemikian rupa untuk *cooling system* mesin 600cc berdasarkan uji coba di lapangan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik aliran pada *Body* mobil dan juga performa radiator pada mobil Sapuaringin Speed 7 melalui pemodelan *Computational Fluid Dynamics* dan pengujian lapangan akan dikaji beberapa parameter, yaitu:

1. Mendesain *sidepod* dan bodi mobil formula untuk menghasilkan nilai *mass flowrate* terbesar.
2. Mengetahui pengaruh bentuk *body*, aliran udara pada *sidepod*, dan gaya-gaya aerodinamika yang bekerja yang berupa *Lift* dan *Drag*.
3. Mengetahui Performa radiator berdasarkan pengujian dan pengambilan data di lapangan, dan perbandingan performa *sidepod* dan radiator existing dengan desain *sidepod* baru.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. *Heat exchanger* yang digunakan adalah *compact heat exchanger* berupa Radiator.
2. Asumsi hanya terjadi perpindahan panas konveksi.
3. Pemodelan geometri *body* dan *sidepod* dilakukan dalam domain 3 dimensi.
4. Fluida yang digunakan pada studi ini adalah gas, yaitu udara dengan asumsi gas ideal.
5. Kontrol volume penelitian sepanjang inlet dan outlet *sidepod*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

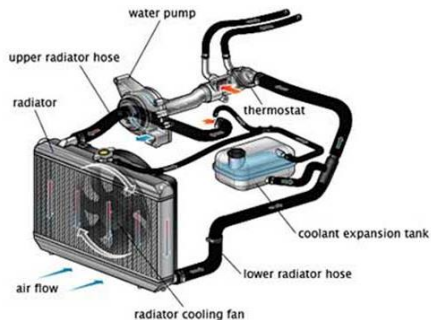
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiator Kendaraan Bermotor

Radiator merupakan komponen yang digunakan pada kendaraan bermotor, fungsi utama radiator adalah melepas panas yang dihasilkan oleh pembakaran pada mesin. Pada umumnya, radiator digunakan pada kendaraan roda 4 dan roda 2 dengan performa yang tinggi.

2.1.1 Prinsip Kerja

Panas mesin yang terdapat pada ruang pembakaran adalah hasil dari proses pembakaran udara dengan bahan bakar, di mana panas ruang mesin akan dipindahkan dari dinding silinder menuju *water jacket* secara konduksi, kemudian perpindahan panas konveksi oleh air. Air yang panas ini akan dipompa menuju radiator untuk didinginkan dengan udara, dan air dapat disirkulasi lagi untuk mendinginkan mesin.



Gambar 2.1 Radiator kendaraan bermotor [3]

Panas dibuang ke lingkungan pada *core radiator*, yang berisi *tube* tipis dengan *fin* dimana air akan mengalami perpindahan panas secara konveksi, kemudian konduksi melalui dinding *tube* dan *fin*, dan pada akhirnya panas pada permukaan *tube* dan *fin* dipindahkan ke udara secara konveksi.

2.1.2 Bagian-bagian Radiator

Terdapat 3 bagian utama pada radiator kendaraan bermotor

A. Tangki Atas atau *Upper Tank*

Upper tank merupakan sebuah penampung air pendingin yang terletak disaluran masuk. Fungsi *upper tank* adalah untuk menampung air panas yang keluar dari mesin. Tanki ini terletak tepat dibagian atas core radiator. Pada *upper tank*, terdapat saluran masuk untuk air panas dari mesin.

B. Inti radiator atau *Radiator Core*

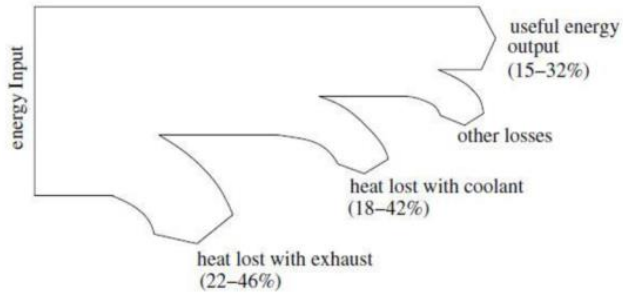
Inti radiator merupakan pipa kecil dalam jumlah besar yang memanjang antara Upper tank dan Lower tank. Fungsi pipa ini sebagai media penyaluran panas dari air radiator. Bentuk pipa ini memanjang dengan agak pipih dan memiliki lubang yang kecil. Tujuan desain ini yakni agar aliran air dari upper ke lower tank bisa berlangsung lama, sehingga semakin lama air berada di radiator core semakin lama juga waktu yang digunakan untuk memindahkan panas. Supaya sirkulasi tetap lancar, maka dalam satu unit radiator terdapat banyak core yang tersebar sepanjang tangki radiator untuk mempertahankan kecepatan air pendingin.

C. Tangki bawah atau *lower Tank*

Tangka bawah berfungsi sebagai penampung air yang sudah didinginkan pada *Core*, pada tangka bawah terdapat saluran keluar yang menuju *suction water pump* untuk disirkulasikan kembali pada *cooling system*.

2.2 Neraca Panas pada Mesin Pembakaran Dalam

Neraca panas secara umum dari suatu bahan bakar mesin, dapat dilihat pada Gambar 2.2 dimana sebagian besar panas akan keluar melalui gas buang (Sekitar 34%), sistem pendinginan (Sekitar 26%), dan hanya sekitar 25% yang dapat diubah menjadi energi mekanik yang dapat digunakan. Sisanya terbuang melalui kerugian gesekan.



Gambar 2.2 Sankey diagram Neraca Panas IC Engine [3]

Berdasarkan neraca panas pada Gambar 2.2 maka fungsi radiator sebagai sistem pendinginan pada mesin menjadi penting. Karena panas yang diserap oleh cairan pendingin dapat mencapai 42% dari total energi yang masuk kedalam mesin. Untuk itu, desain dari radiator sangat menentukan unjuk kerja mesin. Operasi yang kurang tepat akan mengakibatkan pendinginan kurang efektif, dan suhu air menjadi *overheating* atau *overcooling*[2].

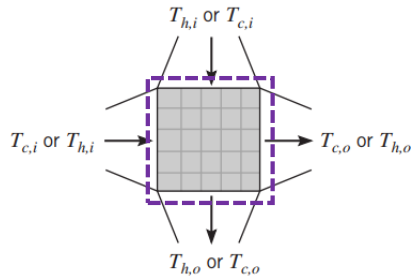
2.3 Proses Perpindahan Panas pada Radiator

Perpindahan panas yang terjadi pada radiator umumnya terjadi antara air dan udara (konduksi diabaikan). Dimana panas dari mesin akan diserap oleh air dan akan dilepaskan ke udara melalui *core* radiator untuk mendinginkan air sebagai fluida pendingin mesin.

Dengan menerapkan hukum 1 termodinamika tentang kekekalan energi pada *control volume* radiator, maka akan diperoleh persamaan berikut[4]:

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} - \dot{E}_{st} = 0 \quad (2.1)$$

Dimana: $\dot{E}_{st} = \Delta U + \Delta EP + \Delta EK$



Gambar 2.3 Diagram analisis kekekalan energi pada radiator[4]

Dikarenakan tidak adanya bangkitan energi pada radiator, maka ($\dot{E}_g = 0$), tidak ada perubahan fase pada fluida kerja didalam sistem, energi kinetik dan energi potensial diabaikan ($\Delta EP = \Delta EK = 0$) maka akan diperoleh persamaan berikut:

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad (2.2)$$

$$\dot{m}_a \cdot T_{a,i} \cdot Cp_{a,i} + \dot{m}_u \cdot T_{u,i} \cdot Cp_{u,i} = \dot{m}_a \cdot T_{a,o} \cdot Cp_{a,o} + \dot{m}_u \cdot T_{u,o} \cdot Cp_{u,o} \quad (2.3)$$

Dimana:

\dot{m} : Laju aliran massa, Air dan Udara

T : Temperatur, Air dan Udara

Cp : Kapasitas kalor, Air dan Udara

Sehingga dengan menggunakan hukum kekekalan energi, persamaan (2.3) akan menjadi:

$$q_{air} = q_{udara} \quad (2.4)$$

2.4 Analisa Radiator sebagai *Heat Exchanger*

Unjuk kerja alat penukar panas akan ditentukan dari nilai efektivitasnya, dimana seberapa besar energi panas yang dapat

dipindahkan secara aktual dibandingkan dengan energi panas yang mampu dipindahkan secara maksimal oleh alat tersebut.

Kalor yang mampu dipindahkan didapat dengan memberi asumsi bahwa alat penukar panas memiliki arah aliran yang berlawanan (*counterflow*), dengan panjang *tube* tak terhingga sehingga terdapat 2 aliran fluida masing-masing memiliki kapasitas tertentu. Apabila kapasitas fluida panas (air) lebih tinggi dibandingkan kapasitas fluida dingin (udara) atau $C_u < C_a$, temperatur udara keluar akan mampu menyamai temperatur air masuk atau ($T_{u,o} = T_{a,i}$) sehingga kalor yang akan dipindahkan :

$$q = C_u \cdot (T_{u,o} - T_{a,i}) \quad (2.5)$$

$$q = C_u \cdot (T_{a,i} - T_{u,i}) \quad (2.6)$$

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka dapat disimpulkan persamaan umum untuk laju perpindahan panas maksimal adalah:

$$q_{max} = C_{min} \cdot (T_{a,i} - T_{u,i}) \quad (2.7)$$

Dengan laju perpindahan panas aktual dirumuskan sebagai berikut:

$$q = C_a \cdot (T_{a,i} - T_{a,o}) \quad (2.8)$$

$$q = C_u \cdot (T_{u,o} - T_{u,i}) \quad (2.9)$$

$$q = UA \cdot (LMTD) \quad (2.10)$$

Dikarenakan radiator merupakan *crossflow heat exchanger* dengan kedua fluida tidak bercampur (*unmixed*). Untuk mendapatkan taksir laju perpindahan panas yang sesuai maka diperlukan faktor koreksi terhadap beda suhu rerata, dengan persamaan yang mengatur sebagai berikut:

$$q = UA \cdot (LMTD)_{CF} \cdot F \quad (2.11)$$

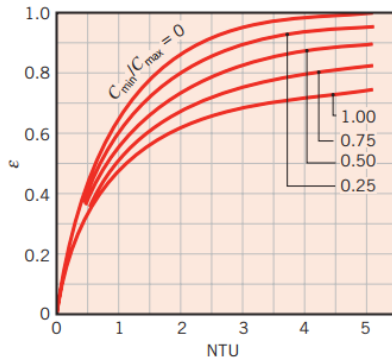
$$q = q_a = q_u \quad (2.12)$$

$$(LMTD)_{CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (2.13)$$

Dimana:

$$\Delta T_1 = T_{a,i} - T_{a,o} \quad (2.14)$$

$$\Delta T_2 = T_{a,o} - T_{u,i} \quad (2.15)$$



Gambar 2.4 Faktor koreksi untuk cross flow heat exchanger single pass dengan kedua fluida tidak bercampur[4]

Sehingga dari persamaan di atas dapat didapatkan koefisien perpindahan panas menyeluruh sebagai berikut:

$$UA = q \cdot \frac{1}{F \cdot \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}} \quad (2.16)$$

Efektifitas suatu alat penukar panas adalah fungsi dari NTU (*number of transfer units*) dan C_r , nilai efektifitas adalah perbandingan dari kapasitas panas aktual dengan kapasitas panas maksimal dari kedua fluida untuk saling memindahkan panas dapat di definisikan dengan persamaan berikut:

$$\varepsilon_{aktual} = \frac{q_{aktual}}{q_{max}} \quad (2.17)$$

Sedangkan Cr adalah perbandingan antara kapasitas panas minimum terhadap kapasitas panas maksimum dimiliki oleh yang masing-masing fluida. Agar terjadi perpindahan panas yang maksimal maka nilai Cr diharapkan memiliki nilai yang rendah dan hal ini dapat digambarkan melalui perbedaan temperatur yang semakin tinggi pada nilai Cr yang rendah. Efektifitas alat penukar panas akan semakin tinggi dengan nilai Cr yang rendah dan NTU (*number of transfer units*) yang tinggi atau dapat didemsikan dengan persamaan:

$$\varepsilon = f\left(NTU, \frac{C_{min}}{C_{max}}\right) \quad (2.18)$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} \quad (2.19)$$

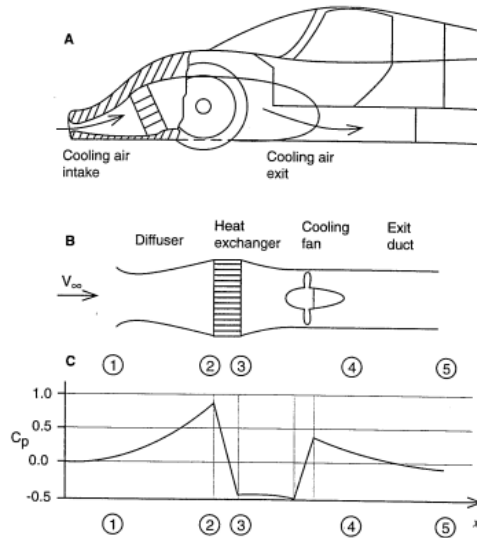
Untuk mencari nilai efektifitas teoritis akan digunakan persamaan hubungan antara efektifitas dengan NTU yaitu [4] :

$$\varepsilon = 1 - \exp\left[\left(\frac{1}{C_r}\right) (NTU)^{0.22} \{ \exp[-C_r (NTU)^{0.78}] - \}\right] \quad (2.20)$$

2.5 Internal Flow

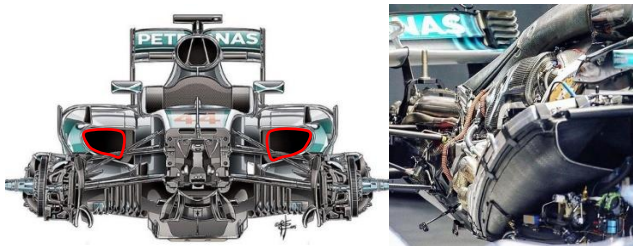
Internal flow ditemukan dalam sistem pendinginan mobil balap dimana panas radiator akan dilepas menuju aliran eksternal sekitar mobil. Sistem pendinginan pada mobil balap umumnya terdiri dari *diffuser* yang berfungsi untuk memperlambat kecepatan dan meningkatkan tekanan statis dari aliran udara masuk yang akan melewati *core* radiator dan menuju daerah bertekanan rendah.

ketika aliran melewati Radiator, tekanan statis turun karena efek pemanasan dan gesekan di dalam inti radiator. Pada umumnya sistem otomotif, kipas pendingin disertakan oleh pabrikan yang menciptakan perbedaan tekanan yang menggerakkan aliran udara melalui radiator[5].

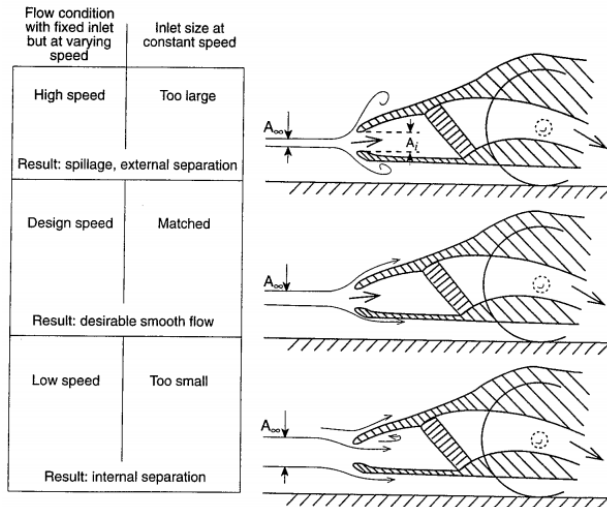


Gambar 2.5 Tipikal Ducting pada cooling system Mobil balap [5]

Menyesuaikan berbagai komponen pada sistem pendingin satu sama lain dan dengan aliran eksternal yang lebih baik akan lebih penting daripada mengoptimalkan kinerja komponen *cooling system*, contoh mengganti radiator dengan yang lebih baik[5].



Gambar 2.6 Inlet Ducting radiator pada mobil Formula 1 [6]



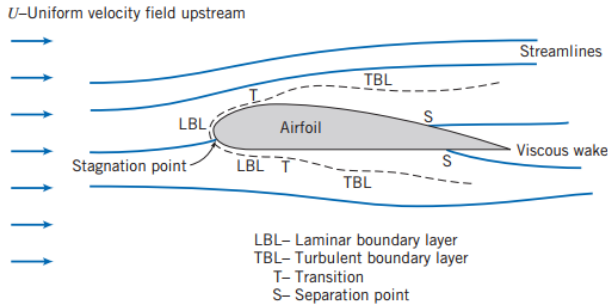
Gambar 2.7 efek kecepatan kendaraan terhadap aliran udara disekitar inlet cooling system[5]

Terlepas dari sensitivitas terhadap ukuran *inlet*, *cooling inlet* mungkin merupakan elemen yang paling diabaikan pada mobil balap dalam hal desain aerodinamis yang tepat, desain yang tepat harus didasarkan pada integrasi bagian internal dan eksternal, berdasarkan aspek-aspek airfoil. Tetapi akan sangat rumit karena bentuk kompleks 3 Dimensi[5].

2.6 Eksternal Flow

Aliran eksternal adalah aliran di atas benda yang terdapat di dalam fluida yang tidak terikat. Ketika melewati suatu *solid surface*, aliran tersebut mengalami distribusi kecepatan yang berbeda sebagai pengaruh adanya tegangan geser pada permukaan padat. Distribusi kecepatan ini dimulai dari titik di permukaan padat tersebut, dimana aliran fluida mempunyai kecepatan nol. Kemudian menjadi semakin besar ketika menjauhi permukaan bodi. Pengaruh tegangan geser akan hilang pada posisi tertentu dan kecepatan fluida mencapai harga kecepatan fluida *non viscous*

($u = 0,99 U_\infty$). Posisi tersebut merupakan batas daerah *viscous* dengan bagian *non viscous*. Jarak yang terukur dari permukaan padat arah normal hingga posisi tersebut disebut tebal lapis batas (*boundary layer thickness*, δ). Dimana tebal lapis batasnya akan meningkat seiring dengan bertambahnya jarak atau lintasan[7].



Gambar 2.8 aliran eksternal pada benda padat berupa airfoil [7]

Aliran pada lapisan batas awalnya adalah laminar. Transisi ke aliran turbulen terjadi pada jarak tertentu dari titik stagnasi, tergantung pada kondisi freestream, kekasaran permukaan, dan gradien tekanan.

Gaya hambat (*Drag*) dan Gaya angkat (*Lift*), sebuah benda yang dialiri sebuah aliran viscous atau incompressible akan menghasilkan gaya-gaya aerodinamika. Gaya-gaya tersebut dihasilkan karena adanya tekanan dan gaya geser pada permukaan benda. Gaya yang sejajar horizontal dengan aliran disebut dengan gaya drag. Sedangkan gaya yang tegak lurus dengan aliran disebut gaya lift.

Gaya drag yang terjadi dapat berupa *Skin friction drag* (F_{Df}) yaitu gaya hambat yang menyinggung permukaan secara tangensial yang timbul sebagai akibat adanya viskositas (tegangan geser antara fluida dan permukaan benda) dan *pressure drag* (F_{Dp}) yaitu gaya hambat yang tegak lurus terhadap permukaan benda yang timbul karena adanya tekanan fluida. Resultan antara *friction drag* dan *pressure drag* ini disebut sebagai *total drag*[7].

Besarnya drag ini untuk setiap bentuk kendaraan berbeda satu dengan yang lainnya, dan ini tergantung pada faktor koefisien drag

atau (C_D). Biasanya gaya hambat sering diekspresikan dalam bilangan tak berdimensi yaitu koefisien drag (C_D) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$C_D = \frac{F_d}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (2.20)$$

Aerodinamik *drag* selain bergantung pada koefisien *drag* dan hubungannya seperti persamaan diatas, juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti sifat turbulensi aliran dan bilangan Reynolds. Ketergantungan pada bilangan Reynolds ini mempunyai arti bahwa koefisien drag bervariasi sesuai kecepatan[7].

Sedangkan gaya *lift*, Gaya *lift* yang bekerja pada body yang dialiri fluida merupakan resultan dari gaya yang bekerja pada *upper body* dan *lower body*. Tiap body memiliki karakteristik gaya lift yang berbeda. Karakteristik gaya lift ditunjukkan dengan koefisien of lift (CL). Besarnya koefisien lift dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (2.21)$$

2.7 Computational Fluid Dynamics

Computational fluid dynamics (CFD) merupakan perangkat analisa system dengan melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, momentum, perpindahan energi, dan fenomena aliran lain didasarkan simulasi berbantuan computer. CFD hakekatnya adalah perangkat software menggunakan *finite volume method* dengan memperlakukan fluida menjadi volume kecil-kecil dan melalui algoritma tertentu untuk menyelesaikan persamaan *Navier-Stokes*. Simulasi menggunakan CFD menghasilkan parameter-parameter penting seperti tekanan, suhu, kecepatan, dan laju alir massa (*mass flow rate*). Analisa menggunakan CFD diperlukan pemahaman dan pengetahuan dasar bidang mekanika fluida untuk interpretasi hasil-hasil simulasi. Penyederhanaan CFD terdiri dari tiga tahapan proses pengerjaan, yaitu *pre-processing* (spesifikasi geometri, *Solver*, dan *Post Processing*).

Pada *software* CFD, terdapat beberapa persamaan penting yang berhubungan dengan CFD, Persamaan Navier-Stokes adalah

persamaan yang mengatur CFD, yang didasarkan pada hukum konservasi sifat fisik fluida. Prinsip hukum konservasi adalah perubahan sifat, misalnya persamaan kontinuitas massa persamaan, energi, dan persamaan momentum ditentukan pada input dan output. Berikut ini contoh persamaan perubahan massa pada sebuah benda:

$$\frac{dM}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} \quad (2.21)$$

Jika $\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = 0$, maka:

$$\frac{dM}{dt} = 0 \quad (2.22)$$

$$M = \text{konstan} \quad (2.23)$$

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{D\rho}{Dt} + \rho \frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.24)$$

Persamaan Momentum:

$$\rho \frac{\partial U_j}{\partial t} + \rho U_i \frac{\partial U_j}{\partial x_i} = \rho g_j \quad (2.25)$$

2.7.1 Pre-Processing

Tahap pre-processing merupakan tahap awal penyelesaian dari permasalahan dengan melakukan beberapa kegiatan seperti berikut:

- Pendefinisian geometri dan domain komputasi yang sudah dilakukan pada software lain.
- *Grid generation* atau *meshing* yaitu membagi domain komputasi menjadi lebih kecil (*cell*).
- Pendefinisian karakteristik fluida yang bekerja pada system, yaitu udara dan air.
- Pendefinisian kondisi batas pada *cell* yang berbatasan dengan batas domain.

2.7.2 Solver and Processing

Solusi numerik bisa didapatkan melalui beberapa metode seperti *finite difference*, *finite element* dan *spectral method*.

Metode numerik yang menjadi dasar dari *solver* dalam menyelesaikan masalah adalah sebagai berikut:

- Pendekatan terhadap variabel aliran yang tidak diketahui, dengan menggunakan fungsi sederhana.
- Substitusi dari pendekatan yang telah dilakukan ke dalam persamaan aliran.
- Menyelesaikan persamaan dengan metode iterasi yang jumlahnya dapat ditentukan.

Terdapat beberapa *turbulence model* yang dapat digunakan dalam CFD, semua model mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing tergantung dengan geometri benda yang akan disimulasikan, berikut ini beberapa penjelasan tentang *turbulence model* yang ada pada CFD[8].

- **Spalart–Allmaras:** Merupakan model turbulensi dengan satu persamaan yang menyelesaikan model persamaan transport untuk viskositas turbulen. Model ini didesain secara khusus untuk aplikasi *aerospace* yang melibatkan *wall-bounded flows* dan telah menunjukkan hasil yang baik untuk lapisan batas yang dipengaruhi *adverse pressure gradient*. Bentuk dasar model spalart – allmaras hanya efektif pada model dengan bilangan *Reynolds* yang kecil. Model ini dapat digunakan untuk simulasi yang relatif kasar dengan ukuran mesh yang besar, dimana perhitungan aliran turbulen yang akurat bukan merupakan hal yang kritis.
- **Standard k-ε:** Pemodelan yang menggunakan persamaan transport untuk penyelesaian model $k - \epsilon$. Model ini juga dapat menyelesaikan untuk *heating*, *buoyancy* dan *compressibility* yang dapat diselesaikan dalam $k-\epsilon$ model yang lainnya. Model tidak cocok untuk aliran kompleks yang meliputi *strong stream curvature* dan *separation*.
- **RNG k-ε:** Variasi pemodelan dari *standard k-ε model*. Model ini sangat signifikan untuk mengubah dalam persamaan ϵ , sehingga dapat memperbaiki model yang mempunyai *highly strained flows*. Dalam model ini juga dapat digunakan untuk aliran yang mempunyai Re yang

rendah dan untuk memprediksi aliran yang mempunyai efek *swirling*.

- **Realizable k- ϵ** : Variasi pemodelan dari *standard k- ϵ* model. Dengan menggunakan model ini dapat dilakukan untuk menentang penggunaan *mathematical constraints* sehingga dengan pemodelan ini cukup dapat memperbaiki performansi dari model tanpa menggunakan *mathematical constrains*.
- **Standard k- ω** : Pemodelan yang menggunakan dua persamaan transport model untuk memecahkan k- ω . Pemodelan ini juga dapat digunakan untuk aliran yang memiliki *Re* yang rendah. Pemodelan ini juga dapat menampilkan transisi aliran dari aliran laminar menuju aliaran turbulen. Keuntungan lainnya adalah dapat menghitung *free shear* dan aliran *compressible*.
- **SST k- ω** : Variasi dari pemodelan standard k- ω Mengkombinasikan pemodelan asli *Wilcox model* (1988) untuk menggunakan *near wall treatment* dan *standard k- ϵ model*.
- **RSM**: Merupakan model turbulensi yang paling teliti pada fluent. Model RSM mendekati persamaan *Navier-Stokes (Reynoldss-averaged)* dengan menyelesaikan persamaan transport untuk tegangan reynoldss bersama-sama dengan persamaan laju dissipasi. Model ini menggunakan 5 persamaan transport, lebih banyak dibanding model turbulensi yang lain. Model RSM menghitung efek dari kurva *streamline*, pusaran (*swirl*), putaran, dan perubahan tiba-tiba pada aliran dengan lebih teliti daripada model turbulensi yang lain, sehingga dapat memberikan prediksi yang lebih akurat untuk aliran yang lebih kompleks.

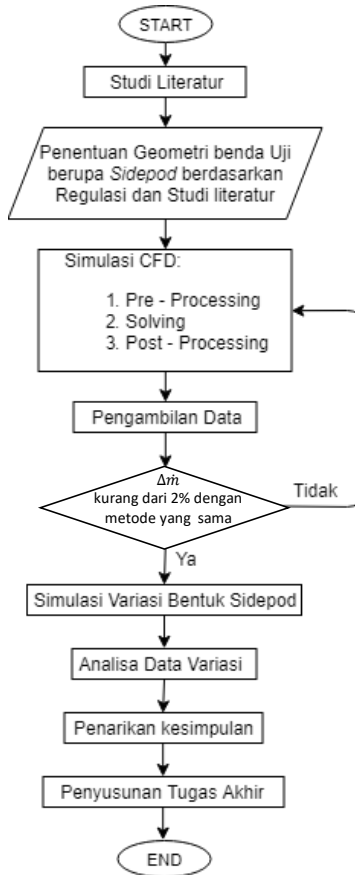
2.7.3 Post Processing

Post processing merupakan tahap akhir dalam CFD. Hasil pengerjaan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, kontur maupun animasi. Beberapa hasil yang dapat ditampilkan diantaranya adalah *display grid*, plot vector, plot kontur, *particle tracking* dan lain sebagainya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flowchart* Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan urutan langkah penelitian seperti pada Gambar 3.1 berikut untuk penelitian numerik dengan *software CFD*.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian menggunakan CFD

Dikarenakan keterbatasan alat ukur dan tuntutan visualisasi mengenai aliran sidepod Mobil Formula SAE, maka penelitian ini menggunakan metode numerik dengan software *CFD*.

3.2 Studi Literatur

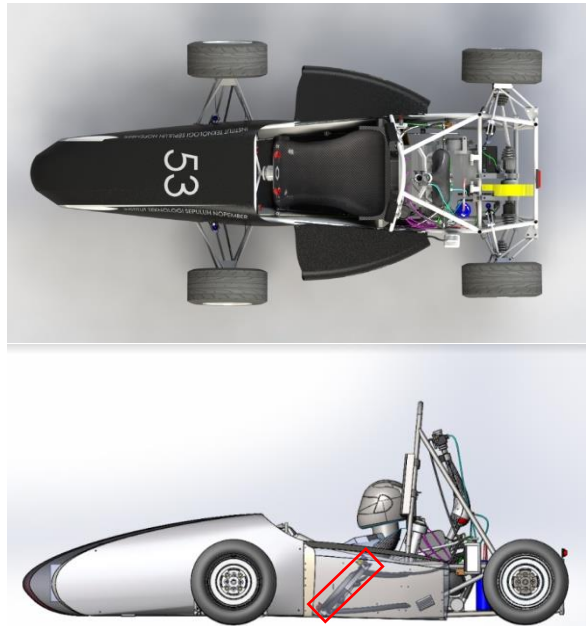
Studi Literatur dilakukan untuk memberi pemahaman konsep dasar yang berkaitan dengan tugas akhir ini. Referensi yang digunakan berasal dari buku yang berjudul "*Race Car Aerodynamics, Joseph Katz*" dan jurnal ilmiah dengan judul "*Optimizing the Cooling Air Flow of a Formula Car using CFD*". Sedangkan konsep dasar yang dipelajari adalah Aerodinamika dan Perpindahan panas pada Heat Exchanger.

3.3 Simulasi Menggunakan Perangkat CFD

Proses simulasi dengan menggunakan CFD terdiri dari lima langkah yaitu pembuatan geometri, *meshing*, *pre-processing*, *solver*, *post-processing*. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai langkah-langkah yang telah disebutkan.

3.2.1 Pembuatan Geometri Benda Uji

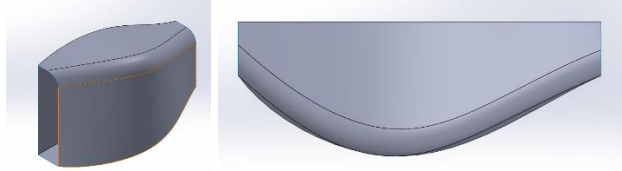
Geometri benda uji yang digunakan pada tugas akhir ini mengacu pada buku "*Race Car Aerodynamics, Joseph Katz*" dan penelitian Lasse Christoffersen, David Söderblom and Lennart Löfdahl (2009). Tahap pembuatan benda uji dimulai dengan pembuatan body pada mobil Sapuwing Speed 7 secara menyeluruh bersama dengan komponen-komponen lain. Pada Gambar 3.2, *Sidepod* mobil sebelumnya tidak disimulasikan karena tidak sesuai dengan konsep dasar *ducting* pada radiator yang harus berbentuk *converging-diverging*, mempunyai bentuk inlet yang kecil meminimalisir *ram-pressure* yang diperlukan untuk menaikkan *static pressure* pada inlet hingga sisi depan radiator [8].



Gambar 3.2 Tampak atas Mobil Sapuangin Speed 6 dan posisi radiator pada mobil(persegi merah).

Pada Gambar 3.2 memperlihatkan bahwa bentuk *sidepod* tidak sesuai dengan teori pada buku *Race Car Aerodynamics*[5] mengenai penggunaan airfoil pada geometri atau bentuk *sidepod*, dan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya[9], sehingga dilakukan desain ulang terhadap geometri *sidepod* agar sesuai dengan konsep cooling system pada mobil balap, khususnya mobil formula[5]. Langkah pertama yaitu mendesain *sidepod* mobil berdasarkan studi literatur, diperoleh beberapa variasi bentuk berikut (dimensi sidepod dan spesifikasi berada pada lampiran buku):

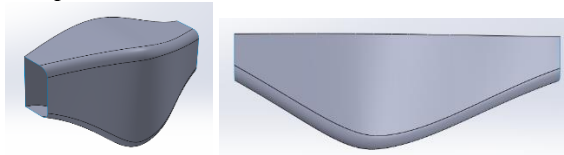
a. *Sidepod 1*



Gambar 3.3 Tampak Isometri (kiri) dan Tampak atas (kanan) desain sidepod 1

Bentuk *Sidepod* di desain sedemikian rupa, diharapkan memiliki efisiensi tertinggi karena bentuk streamline dan sesuai dengan penelitian yang menghasilkan mass flow rate udara terbesar[8].

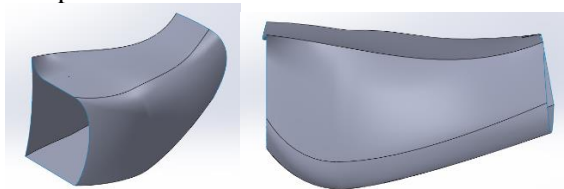
b. *Sidepod 2*



Gambar 3.4 Tampak Isometri (kiri) dan Tampak atas (kanan) desain sidepod 2

Bentuk *sidepod* kedua terinspirasi dari bentuk sidepod mobil Formula pada umumnya, dengan *inlet ducting* yang kecil, sehingga diharapkan memiliki gaya *drag* yang kecil. Lubang inlet terletak diatas lebih tinggi agar mendapatkan udara yang bersih, terbebas dari turbulensi akibat komponen suspence pada roda depan.

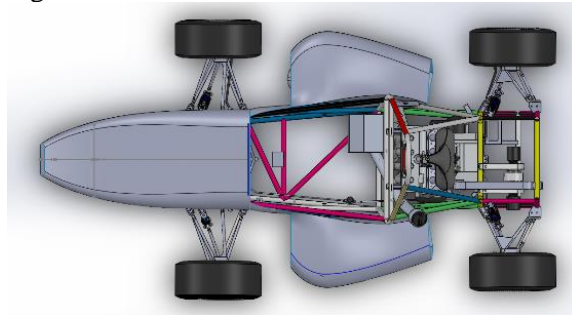
c. *Sidepod 3*



Gambar 3.5 Tampak Isometri (kiri) dan tampak atas (kanan) desain sidepod 3

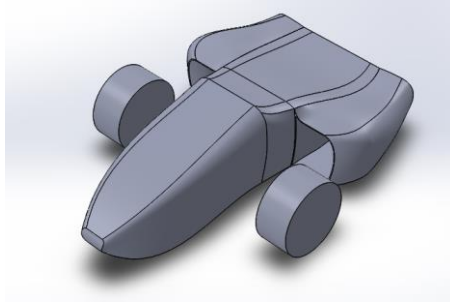
Bentuk *sidepod* ketiga dibuat berdasarkan teori pada buku *Race Car Aerodynamics*[5], dimana bentuk-bentuk aerodinamika pada mobil harusnya mengacu pada bentuk airfoil. Berdasarkan penelitian tentang aerodynamics part pada mobil formula oleh wahyu Nugroho[8], airfoil yang digunakan adalah S1223 yang di desain oleh *Selig* dan *Guglielmo*.

Setelah ketiga desain tersebut disimulasikan, akan dipilih geometri terbaik berdasarkan *mass flow rate* udara yang dapat melewati *sidepod* tersebut, selain *mass flow rate*, parameter lain seperti gaya drag dan gaya lift juga akan diperhitungkan setelah desain terbaik didapatkan. Dipilih *mass flow rate* karena dengan meningkatkan jumlah masa udara yang melewati radiator, maka kalor yang dapat dibuang oleh radiator akan semakin besar[9]. Gambar 3.6 merupakan contoh *full assembly* mobil ketika semua komponen telah terpasang,



Gambar 3.6 Tampak atas Mobil Sapuangin Speed 7

Dikarenakan bentuk yang terlalu kompleks, dikhawatirkan akan terjadi banyak error pada meshing berupa nilai *skewness* yang besar, sehingga simulasi yang dilakukan rawan terjadi *divergence error* dan tidak valid, maka geometri sidepod dan body pada percobaan disederhanakan menjadi berikut:

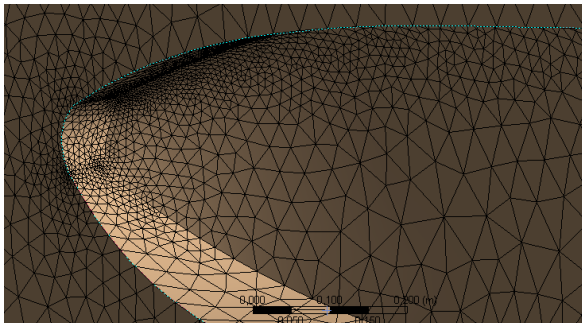


Gambar 3.7 Penyederhanaan geometri body mobil

Penyederhanaan mobil harus mempertahankan bagian-bagian penting dari tujuan dilakukan penelitian ini, dalam hal ini bagian yang dipertahankan adalah roda depan, *full body*, dan *sidepod* itu sendiri.

3.2.2 *Meshing* pada Geometri benda

Bidang atau volume yang diisi oleh fluida dibagi menjadi sel-sel kecil (*meshing*) sehingga kondisi batas dan beberapa parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan ke dalam elemen-elemen kecil tersebut. setiap elemen tersebut akan dilakukan komputasi dengan memasukkan persamaan konservasi energi, momentum dan persamaan lain sehingga dihasilkan sebuah nilai. Semakin kecil ukuran elemen pada geometri yang digunakan maka semakin banyak jumlah elemen yang terbentuk dan mempengaruhi lamanya proses komputasi.

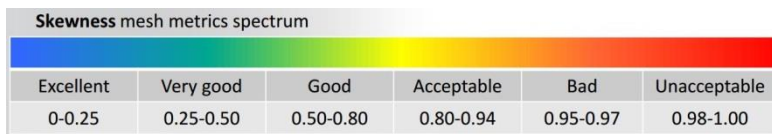


Gambar 3.8 Detail *Meshing* pada *nose body*

Pada percobaan kali ini, kualitas dari meshing ditentukan dari nilai *skewness* yang dihasilkan oleh proses meshing. Semakin besar angka *skewness*, maka kualitas meshing tersebut semakin rendah. Pada geometri yang sudah disederhanakan diatas, didapatkan meshing dengan nilai *skewness* maksimum sebesar 0.86, 316109 Nodes dan jumlah element sebanyak 4848811. Hasil meshing disajikan dalam tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Hasil Meshing pada Simulasi

Parameter	Nilai
<i>Maximum Skewness</i>	0.86
<i>Nodes</i>	316109
<i>Element</i>	4848811



Gambar 3.9 *Skewness mesh metric spectrum*

3.2.3 Processing

Dengan bantuan software CFD, kondisi-kondisi yang telah ditetapkan (boundary condition) pada saat preprocessing akan dihitung (diiterasi). Jika kriteria konvergensi tercapai dengan kriteria yang ditentukan, maka tahapan dilanjutkan pada post-processing dan jika tidak tercapai tahapan akan mundur ke belakang pada tahapan pembuatan/pembenahan meshing.

a. Models

Model yang digunakan adalah model turbulen *k-ε realizable (RKE)*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang akurat pada kontur, baik tekanan maupun kecepatan. Kasus-kasus diselesaikan dengan model k-epsilon yang dapat direalisasikan digunakan dengan skema *Second order* untuk momentum, energi kinetik, dan laju disipasi.

Meskipun model k-epsilon memiliki beberapa kelemahan dalam hal pemodelan fisik, telah terbukti memberikan hasil yang cukup akurat dalam aplikasi aerodinamika kendaraan dengan stabilitas yang baik dan karena itu dipilih [4].

b. Materials

tahap ini menetapkan jenis material yang akan digunakan serta memasukkan data-data *properties* dari material tersebut. Pada pemodelan ini dipilih udara sebagai fluida kerja dengan kondisi udara sebagai *Ideal gas* pada pemilihan material.

c. Boundary Conditions

Boundary Conditions merupakan penentuan parameter-parameter dan batasan yang mungkin terjadi pada aliran. Kondisi batas tersebut dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Kondisi batas pada simulasi

Kondisi Batas	Keterangan	
	Tipe	Nilai
<i>Inlet</i>	<i>Velocity Inlet</i>	14 m/s
Aspal/jalan	<i>Moving wall</i>	14 m/s
Ban	<i>Rotating wall</i>	1.02 Rad/s
<i>Outlet</i>	<i>Pressure outlet</i>	101325 Pa

Telah ditunjukkan dalam beberapa penelitian, yaitu Elofsson dan Bannister [10], Wiedemann [11] dan Wäschle [12] bahwa gerakan relatif antara tanah dan kendaraan termasuk efek roda yang berputar memiliki pengaruh besar pada seluruh bidang aliran di sekitar kendaraan. Dengan demikian, ini diimplementasikan dalam simulasi dengan memodelkan tanah sebagai dinding yang bergerak dan dinding ban sebagai dinding yang berputar.

d. *Initialize*

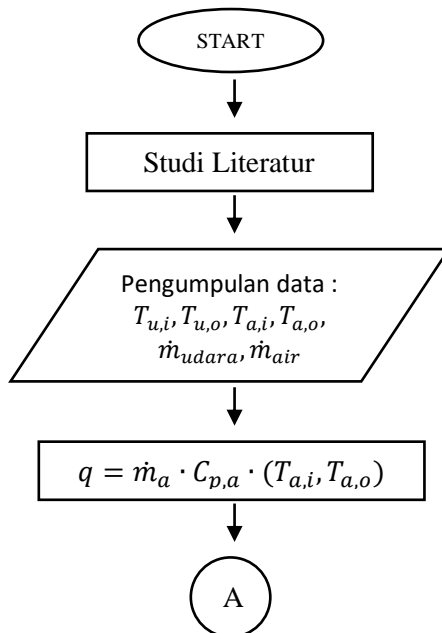
Initialize merupakan penentuan nilai awal yang dihitung dari salah satu kondisi batas agar lebih memudahkan untuk konvergen dan diinputkan dari *inlet*.

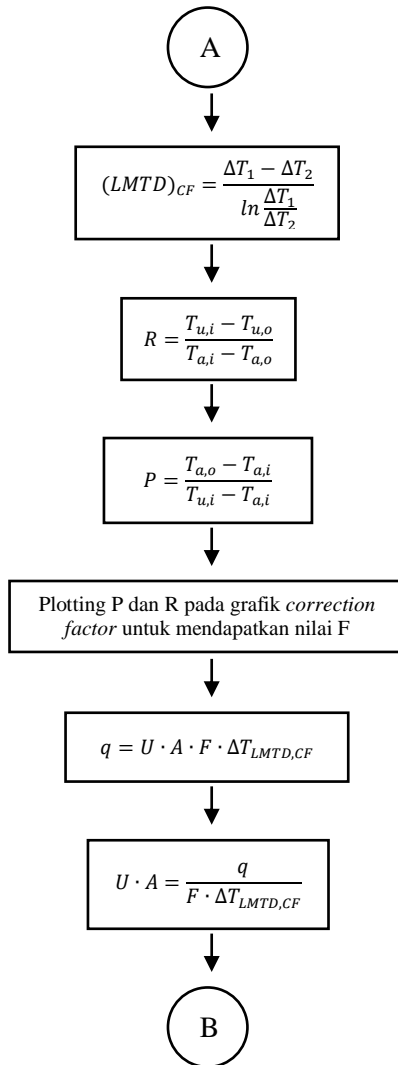
3.2.4 *Post-Processing*

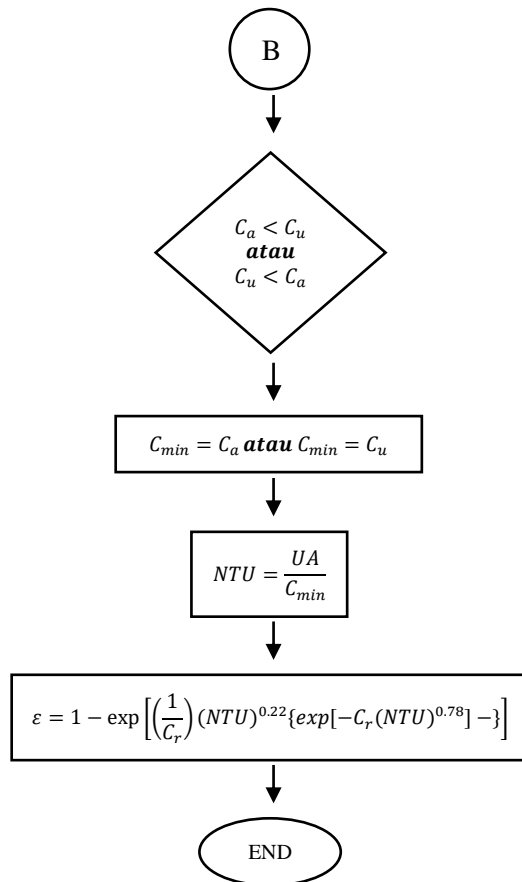
Tahap terakhir setelah semua iterasi yang dijalankan oleh software selesai. Pada tahap ini, hasil simulasi dari geometri dapat ditampilkan dalam bentuk visual seperti kontur, grafik, dan sebagainya.

3.4 Analisa Data lapangan

Selain melakukan simulasi *CFD*, perhitungan berdasarkan data yang diambil dari lapangan juga dilakukan untuk unjuk kerja radiator yang telah digunakan.







Gambar 3.10 Diagram Alir perhitungan unjuk kerja Radiator sebagai Heat Exchanger

Beberapa tahapan penganalisaan yang diperlukan untuk mengetahui unjuk kerja Radiator sebagai Heat Exchanger pada mobil *Formula Student* meliputi kalor yang dapat dilepas oleh radiator dan *effectiveness*, yaitu kapasitas aktual dibagi dengan kapasitas maksimum radiator dalam melepas kalor ke lingkungan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengambilan data lapangan yang telah dilakukan, didapatkan beberapa data yang menunjukkan unjuk kerja radiator saat digunakan secara langsung. Data perpindahan panas pada radiator akan diolah untuk mencari *effectiveness* radiator tersebut.

Sedangkan data hasil simulasi akan digunakan untuk mengoptimalkan gaya-gaya aerodinamika berupa gaya *lift* dan *drag* pada *body* tanpa mengurangi kinerja radiator dalam menukar panas.

4.1 *Grid Independency*

Dalam studi numerik yang menggunakan perangkat lunak komersial ini diperlukan keakuratan data baik pada langkah post processing maupun pre-processingnya. Hal ini dilakukan agar data yang diperoleh dapat divalidasi pada aplikasi sebenarnya. Untuk itu diperlukan langkah *grid independensi* untuk menentukan tingkat serta struktur *grid* terbaik agar hasil pemodelan mendekati sebenarnya[8].

Grid independency dilakukan dengan melakukan simulasi beberapa jumlah *cell* dalam *mesh* dengan kondisi batas yang sama. *Grid* terbaik bukanlah *mesh* dengan jumlah *cell* terbanyak, namun ketika dua atau lebih *mesh* menunjukkan perbedaan hasil yang tidak signifikan atau dengan kata lain hasilnya mulai konstan. Tabel 4.1 menunjukkan simulasi beberapa *mesh* untuk *grid independensi* dengan membandingkan parameter *mass flow rate*.

Tabel 4.1 Tabel hasil simulasi beberapa *mesh grid* independen

Nama	Jumlah Cell	Jumlah Nodes	Mass flowrate (kg/s)	error
Mesh A	47323	9572	3.7067773	-
Mesh B	60812	12258	3.7076455	1%
Mesh C	128997	25236	3.7079446	0.9%
Mesh D	129226	25292	3.7072926	0.9%

4.2 Data dan Perhitungan pada Radiator

Perhitungan kalor yang dibuang ke lingkungan oleh radiator sebenarnya dapat dihitung dari presentase kalor yang terbangun berdasarkan diagram Sankey diagram pada Bab 2, yaitu berkisar antara 18-42% sebagai kalor yang dibuang oleh radiator dari total 100% kalor yang tersedia oleh bahan bakar.

Tabel 4.2 Data pengujian lapangan

No.	Parameter	Nilai
1.	Kecepatan mobil rata-rata	14 m/s
2.	Temperatur udara masuk	31°C
3.	Temperatur udara keluar	62°C
4.	Temperatur air masuk	75°C
5.	Temperatur air keluar	67.5°C
6.	Mass flow rate air	0.27 kg/s
7.	Mass flow rate Bahan bakar	0.0047 kg/s
8.	LHV bahan bakar	44791 kJ/kWh

Berikut analisis radiator dari pengujian yang telah dilakukan:

- a) Menghitung temperatur udara

$$T_u = \frac{T_{u,i} + T_{u,o}}{2}$$

$$T_u = \frac{31 + 62}{2}$$

Dengan temperatur udara 31.5°C didapatkan property udara sebagai berikut (tabel A-4 Incropera)

$$\text{Densitas } (\rho_{udara}) = 1.16 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Panas spesifik } (C_{p,u}) = 1.006 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

- b) Menghitung temperatur rata-rata air

$$T_u = \frac{T_{a,i} + T_{a,o}}{2}$$

$$T_u = \frac{75+67.5}{2} = 71.25$$

Dengan temperatur air 71°C didapatkan property udara sebagai berikut (tabel A-9 Incropera)

$$\text{Densitas } (\rho_{air}) = 978.5 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Panas spesifik } (C_{p,a}) = 4.191 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

- c) Menghitung laju massa air

$$\dot{m}_a = \frac{dm^3}{min} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ dm}^3} \cdot \frac{1000}{\text{m}^3} \left(Q_{lpm}/60 \right) \text{ air}$$

$$\dot{m}_a = (16/60) \text{ air}$$

$$\dot{m}_a = 0.27 \text{ kg/s}$$

- d) Menghitung laju perpindahan panas

$$q = \dot{m}_a \cdot C_{p,a} \cdot (T_{a,i} - T_{a,o})$$

$$q = 8764.01 \text{ W}$$

- e) Koefisien perpindahan panas menyeluruh (UA)

Berdasarkan persamaan pada Bab 2, maka didapatkan faktor koreksi sebesar $F=1$ dan $UA = 337 \text{ W/K}$

- f) Menghitung kapasitas panas udara

$$C_u = \dot{m}_u \cdot C_{p,u}$$

$$C_u = 0.38 \text{ kg/s} \cdot 1.006 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$C_u = 1248.79$$

g) Menghitung kapasitas panas air

$$C_a = \dot{m}_a \cdot C_{p,a}$$

$$C_a = 0.27 \text{ kg/s} \cdot 4.188 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

$$C_a = 1130.76$$

h) Menghitung rasio kapasitas (C_r)

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

$$C_r = \frac{1130.76}{1248.79}$$

$$C_r = 0.90$$

i) Menghitung *Number of Transfer Unit (NTU)*

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}}$$

$$NTU = \frac{381.04 \text{ W/K}}{1130.76}$$

$$NTU = 0.33$$

j) *Theoretical Effectiveness-NTU*

Merupakan kapasitas pertukaran kalor maksimum yang dapat dicapai oleh heat exchanger tersebut, dalam hal ini dengan panjang heat exchanger tak terhingga[2].

$$\varepsilon = 1 - \exp \left[\left(\frac{1}{C_r} \right) (NTU)^{0.22} \{ \exp[-C_r (NTU)^{0.78}] - 1 \} \right]$$

$$\varepsilon = 1 - \exp \left[\left(\frac{1}{0.9} \right) (0.33)^{0.22} \{ \exp[-0.90(0.33)^{0.78}] - 1 \} \right]$$

$$\varepsilon = 0.45$$

Dari percobaan yang dilakukan, berupa running test dan dynotest didapatkan nilai daya output pada kendaraan sebesar sebesar 68 kW. Sedangkan *mass flow* bahan bakar yang terbaca yaitu sebesar 4.7115 g/s. Sehingga, daya total yang seharusnya

mencapai 211.0345 kW banyak yang terbuang menjadi panas melalui gas buang, radiator, dan gesekan. Dengan nilai minimum 18% dari daya total, didapatkan nilai minimum 37.986 kW untuk kapasitas radiator dalam melepas panas.

Efektifitas *heat exchanger* didapatkan pada angka 45%, karena mempunyai luas penampang yang terbatas, sehingga temperatur *Cooling fluid*(udara) masuk dan *Hot Fluid*(Air) keluar tidak bisa sama ($T_{air\ out} \neq T_{udara\ masuk}$). Selain luas penampang yang terbatas, kerusakan dan kotoran berupa kerikil yang menempel pada *fin heat exchanger* menyebabkan udara terhambat, dan radiator tidak bisa melepas panas dengan optimal.

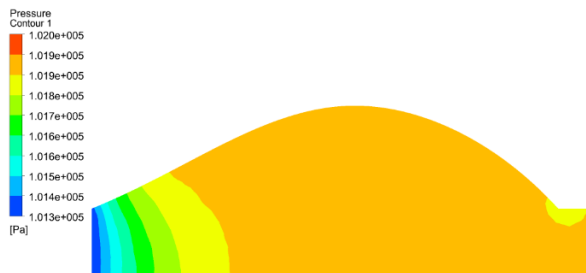
Dengan jumlah *mass flowrate* udara yang didapatkan ketika percobaan dan hasil perpindahan panas pada radiator, diharapkan desain *ducting* yang mampu memberi *mass flowrate* udara yang lebih besar agar kalor yang dapat dibuang radiator lebih maksimal.

4.3 Simulasi *Sidepod* dengan Metode CFD

Setelah dilakukan simulasi menggunakan *Software* CFD, didapatkan beberapa data berupa efek variasi bentuk *sidepod* terhadap aliran fluida di dalam *sidepod*.

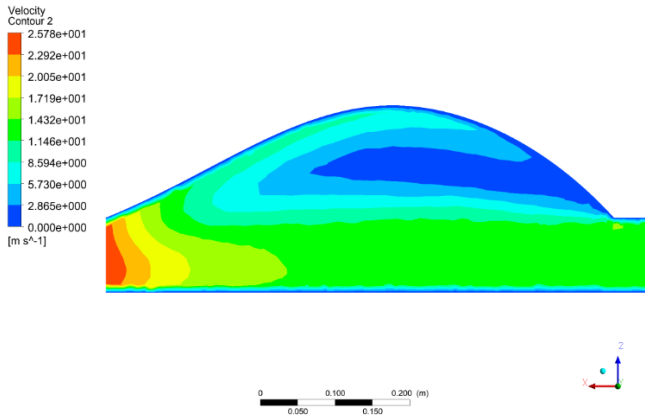
a. Variasi *Sidepod* 1

Dilakukan simulasi pada *sidepod* pertama dengan geometri yang didasarkan dari penelitian Lasse[9], didapatkan hasil kontur distribusi tekanan pada Gambar 4.1 dan distribusi kecepatan udara didalam *sidepod* seperti pada Gambar 4.2 berikut ini



Gambar 4.1 Distribusi tekanan didalam *sidepod* 1

Distribusi tekanan yg lebih tinggi pada *Sidepod 1* tersebar merata dari depan hingga 75% dari panjang sidepod, hal ini kurang baik untuk digunakan untuk radiator dimana tekanan tinggi hanya sampai pada sisi paling lebar[5]. Tekanan maksimum yang didapatkan pada *case* pertama ini sebesar 101900 Pa.

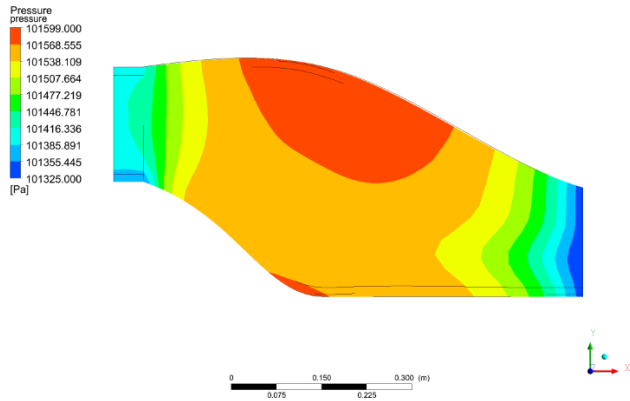


Gambar 4.2 Distribusi kecepatan tampak atas didalam sidepod 1

Berdasarkan gambar 4.2 diatas, dapat dilihat bahwa terjadi separasi aliran pada inlet dikarenakan belokan tajam. Separasi aliran ditunjukkan pada gambar dengan warna biru tua, dimana aliran memiliki kecepatan yang mencapai 0 m/s. Dengan konfigurasi seperti gambar diatas, didapatkan *mass flowrate* udara yang dapat melewati *Sidepod* tersebut sebesar 1.0624098 kg/s pada suhu udara 300 K dengan kecepatan mobil sebesar 14m/s.

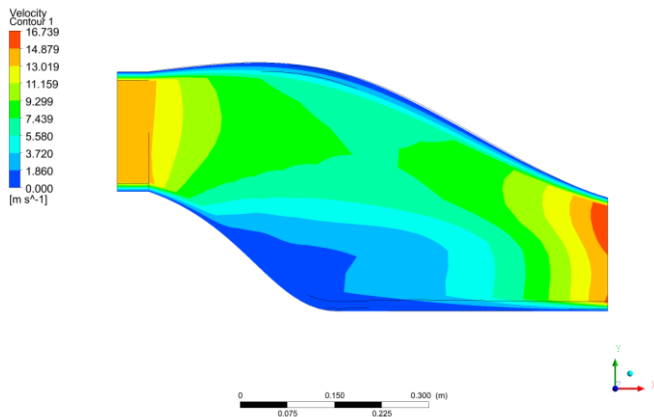
b. Variasi Sidepod 2

Pada variasi *sidepod* kedua, geometri diadopsi dari model *sidepod* yang banyak digunakan pada mobil formula saat ini, khususnya formula 1. Dengan konfigurasi *intake ducting* yang tinggi, diharapkan aliran udara terbebas dari turbulensi akibat komponen *suspense* dan *front arm*.



Gambar 4.3 Kontur tekanan pada tampak samping internal Sidepod 2

Berdasarkan Gambar 4.3 diatas, dapat dilihat bahwa distribusi tekanan pada variasi sidepod 2 berbeda dengan *case sidepod 1*, dimana tekanan mulai naik (ditandai dengan kontur warna oranye) ketika memasuki area *diffuser*, namun tekanan maksimum *sidepod 2* ini tidak sebesar pada *case* pertama dimana tekanan maksimum di dalam *sidepod* hanya mencapai 101599 Pa.

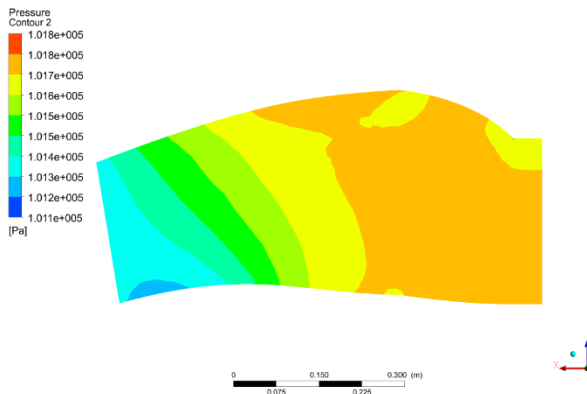


Gambar 4.4 Distribusi kecepatan udara pada tampak samping Sidepod 2

Pada Gambar 4.4, distribusi kecepatan udara pada internal *sidepod* lebih baik dibandingkan dengan *sidepod* 1, hal ini dapat dilihat dari kontur yang merata pada sisi *inlet* hingga *outlet*, kecepatan udara juga berpengaruh terhadap tekanan yang terjadi didalam *sidepod*, sesuai dengan hukum *Bernoulli* dan teori *cooling system* oleh *Joseph Katz*[5] dimana tekanan akan naik seiring berkurangnya kecepatan udara didalam *sidepod*. Namun pada desain *sidepod* 2, masih terdapat separasi aliran pada sisi bawah *sidepod*, separasi ini diakibatkan oleh geometri benda yang menurun terlalu curam. Dari hasil simulasi yang dilakukan didapatkan mass flowrate udara yang dapat melewati *sidepod* sebesar 0.61264565 kg/s pada suhu udara 300 K dengan kecepatan mobil sebesar 14m/s.

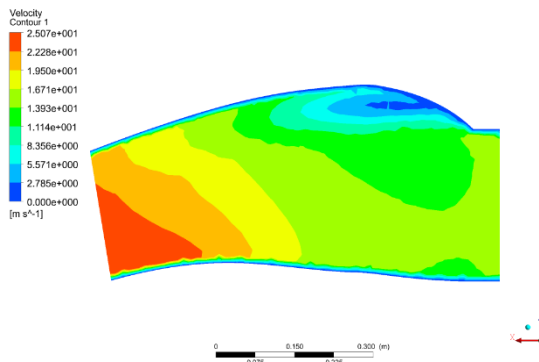
c. Variasi Sidepod 3

Geometri *sidepod* 3 didasarkan pada bentuk airfoil untuk *cooling ducting*[5], airfoil yang digunakan adalah S1223 yang memiliki maximum *angle of attack* besar, yaitu hingga 20° tanpa terjadi stall. Sehingga sisi luar *sidepod* dapat dimanfaatkan untuk penelitian penempatan *cooling louvre*, sebagai alat bantu agar udara panas didalam *sidepod* terekstrak keluar akibat perbedaan tekanan.



Gambar 4.5 Tampak atas distribusi tekanan didalam sidepod 3

Pada Gambar 4.5, distribusi tekanan menunjukkan kontur yang sudah sesuai dengan Joseph Katz[5] dan Lasse[9], dimana tekanan tertinggi hanya mencapai sisi tengah dan sisi paling lebar dari bentuk *sidepod*, dengan tekanan maksimum sebesar 101800 Pa.



Gambar 4.6 Tampak atas kontur distribusi kecepatan udara didalam sidepod variasi 3

Berdasarkan Gambar 4.6, didapatkan aliran dengan sedikit separasi pada sisi dalam *airfoil*, separasi masih terjadi karena terdapat belokan tajam pada sisi *inlet*. Sesuai dengan teori dimana sisi airfoil tidak hanya pada luar *ducting*, namun sisi dalam juga[5]. Dari simulasi yang telah dilakukan, didapatkan mass flowrate udara yang dapat melewati *sidepod* sebesar 3.7072926 kg/s pada suhu udara 300 K dengan kecepatan mobil sebesar 14m/s.

Dari 3 geometri *sidepod* yang telah disimulasikan, maka dipilih *sidepod 3* karena memiliki *maximum possible mass flowrate* dengan parameter yang sama, yaitu kecepatan mobil 14m/s. Desain *sidepod 2* dan *3* lebih cenderung digunakan untuk kecepatan rata-rata yang tinggi, sehingga dengan geometri *inlet* yang kecil, bisa mendapatkan jumlah *mass flowrate* yang besar. Berikut tabel hasil perbandingan simulasi sidepod.

Tabel 4.3 Data hasil perbandingan *mass flowrate*

Desain Sidepod	<i>Mass flowrate</i> (kg/s)	
	T=300K	T=313K
Variasi 1	1.0624098	0.5312049
Variasi 2	0.61264565	0.3001963
Variasi 3	3.7072926	1.7760811

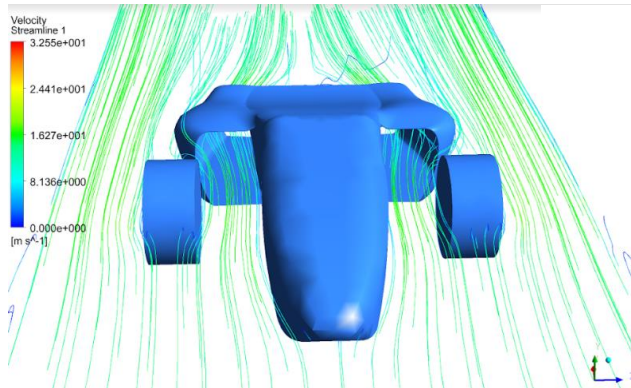
Setelah didapatkan geometri sidepod terbaik, maka proses selanjutnya yaitu simulasi menggunakan *full body* untuk memperoleh gaya *drag* dan gaya *lift* pada body mobil, selain itu simulasi menggunakan *full body* dapat mengetahui apakah aliran pada inlet sidepod mendapat pengaruh dari ban yang berada didepan nya. Dalam kasus ini, komponen suspense yang berada diantara ban dan body tidak dimasukan karena masih dalam tahap *development*. Hasil dari simulasi *full body* dengan ban depan ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.4 Data hasil simulasi menggunakan CFD

Jumlah Elemen	4848811
Jumlah <i>Nodes</i>	316109
Gaya <i>Drag</i>	28.758 N
Gaya <i>Lift</i>	-41.884 N
Waktu simulasi	6.01.31

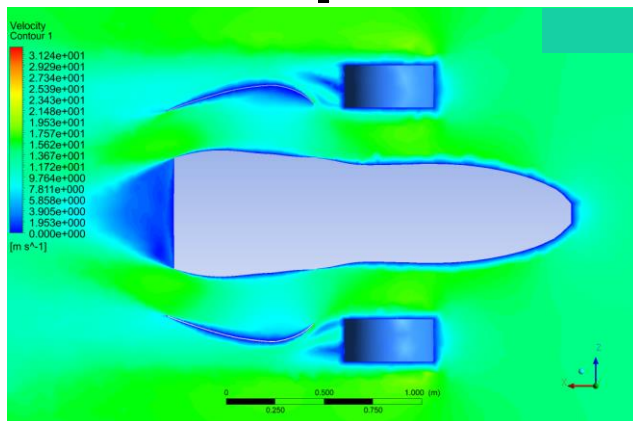
4.4 Gaya yang bekerja pada sekitar body mobil

Bentuk dari sidepod dibantu dengan menggunakan airfoil S1223, yaitu pada sisi samping. Airfoil tersebut hanya diambil bagian *leading edge - upper surface - trailing edge*, atau bagian yang panjang, untuk dijadikan sisi luar pada sidepod.



Gambar 4.7 Streamlines aliran udara disekitar body mobil pada bidang datar sejajar dengan titik tengah roda.

Pada Gambar 4.7, terlihat bahwa aliran *inlet* pada *sidepod* terbebas dari *wake* roda depan, aliran dari sisi dalam roda terbangun kearah samping mobil. Dengan begitu, udara dapat masuk dengan baik untuk mendinginkan radiator. Sedangkan pada gambar 4.8, masih terlihat bahwa terdapat separasi aliran pada internal sidepod, seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2 berdasarkan buku *Race Car Aerodynamics*, memang penting untuk meninjau bentuk airfoil tidak hanya pada sisi luar *ducting*, tetapi sisi dalam.



Gambar 4.8 kontur distribusi kecepatan pada bidang datar sejajar dengan titik tengah roda.

Aliran udara disekitar *body* akan mempengaruhi gaya-gaya yang bekerja pada permukaan *body*, yaitu gaya *drag* dan *lift*. Setelah ditemukan Gaya *drag*, maka *coefficient of drag* dapat diketahui melalui perhitungan berdasarkan persamaan (2.20). *Coefficient of drag* sangat membantu dalam perhitungan gaya minimal yang dibutuhkan mobil untuk melaju dalam kecepatan tertentu. Dengan persamaan yang ada, akan didapatkan C_d sebesar 0.49 untuk keseluruhan *body* dan ban depan pada simulasi yang sudah dilakukan.

$$C_D = \frac{28.758}{\frac{1}{2} \times 1.16 \times 14^2 \times 0.536}$$

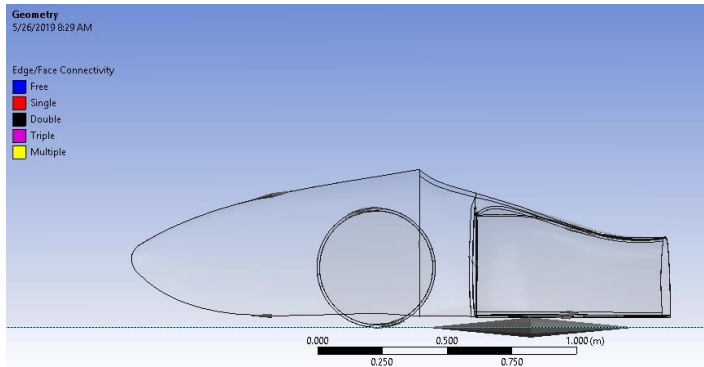
$$C_D = 0.49$$

Sedangkan pada gaya *lift* di kasus ini adalah *lift* dengan arah negative (*downforce*). *Downforce* dalam mobil balap sangat penting karena termasuk faktor keamanan, dalam hal ini menjaga mobil tetap menempel pada jalan dan mencegah terjadinya *airbone* atau mobil terangkat keatas, selain faktor *safety*, *downforce* juga memiliki peran penting pada mobil ketika melewati tikungan dalam kecepatan tinggi, karena gaya normal bertambah, maka grip yang didapatkan mobil juga bertambah, sehingga kecepatan mobil ketika melewati tikungan akan bertambah besar, dan kecepatan rata-rata mobil akan bertambah sehingga waktu tempuh dalam 1 lap akan berkurang.

Gaya *lift* yang didapat dari hasil simulasi sebesar -41.884 N, nilai negative (-) menunjukkan bahwa gaya mengarah secara berlawanan atau menjadi Gaya tekan (*downforce*). Dengan persamaan 2.21, maka koefisien *lift* dapat dihitung sebagai berikut:

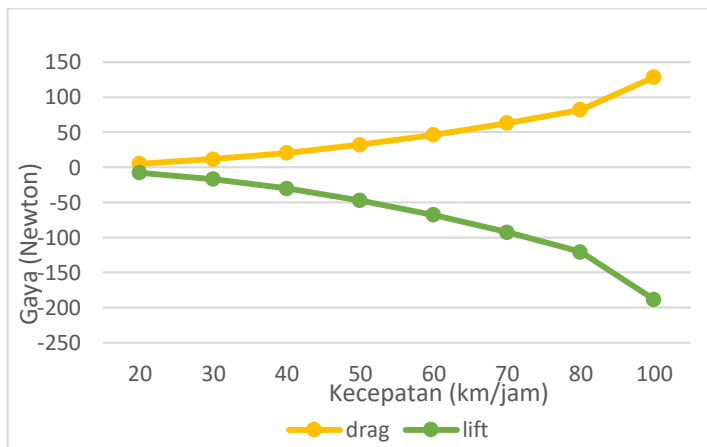
$$C_L = \frac{41.884}{\frac{1}{2} \times 1.16 \times 14^2 \times 2.718}$$

$$C_L = 0.135$$



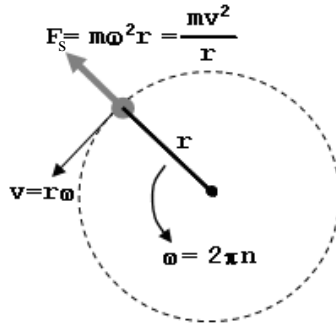
Gambar 4.9 Tampak samping mobil formula dengan sudut serang $\alpha = 0^\circ$

Koefisien *lift* yang didapatkan bernilai kecil, pada Gambar 4.9 terlihat bahwa sudut serang mobil ($\alpha = 0^\circ$) dimana *ground effect* menjadi sangat kecil[13], sehingga gaya *downforce* yang didapatkan juga sedikit. Berdasarkan hasil simulasi diatas, maka gaya *drag* dan *downforce* pada kecepatan tertentu dapat di plot, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut:



Gambar 4.10 Hubungan Gaya drag dan Lift terhadap kecepatan mobil

Gaya *drag* dan *lift* pada mobil formula merupakan komponen yang harus diperhatikan dalam mendesain *sidepod*, karena desain yang salah dapat mengakibatkan mobil kehilangan *grip* (daya cengkram ban terhadap aspal atau jalan) saat melewati tikungan.



Gambar 4.11 Gaya sentrifugal yang terjadi pada lintasan beradius.

Berdasarkan Gambar 4.11 yaitu teori gaya sentrifugal yang bekerja pada sebuah benda, maka gaya sentrifugal tidak boleh lebih dari sama dengan gaya gesek maksimum pada ban. ($F_s \leq F_g$). Hubungan *downforce* dan kemampuan *grip* (gaya gesek roda terhadap aspal) mobil dapat dilihat dari persamaan berikut:

$$F_g = \mu_k N$$

Maka, gaya gesek akan semakin besar seiring dengan pertambahan gaya normal akibat *downforce*

$$N = mg + F_L$$

Dimana :

F_g = Gaya gesek roda dengan permukaan jalan

μ_k = Koefisien gesek roda dengan aspal

N = Gaya Normal

m = massa benda

g = percepatan gravitasi

F_L = *downforce*

Jika gaya sentrifugal lebih besar dari gaya gesek ban terhadap aspal, maka mobil akan tergelincir dan selip. Gaya *downforce* akan

menambah grip, dikarenakan gaya normal (N) pada mobil akan bertambah, sehingga dengan massa mobil yang tetap, gaya gesek atau traksi pada mobil dapat bertambah seiring dengan penambahan gaya *downforce*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Geometri *inlet* dan bentuk sidepod sangat berpengaruh terhadap mass flowrate *udara* yang masuk, variasi 1 menghasilkan 1.06 kg/s, variasi 2 menghasilkan 0.61 kg/s, variasi 3 menghasilkan 3.70 kg/s pada suhu 300K.
2. Sedangkan gaya-gaya aerodinamika pada kendaraan berupa gaya *lift* dan *drag* dengan koefisien *drag* sebesar 0.49 dan koefisien *lift* sebesar 0.135 dengan arah negatif.
3. Berdasarkan pengujian lapangan yang dilakukan di MPM *Safety Riding Center*, didapatkan bahwa mobil mengalami gejala *overheating* secara terus menerus, dengan temperatur air mencapai 120°C. Perhitungan menunjukkan bahwa radiator hanya mampu melepas panas sebesar 23.07% dari total kalor yang harus dibuang.

5.2 SARAN

1. Geometri simulasi sebaiknya dibuat sesederhana mungkin dengan minimum *tangent surface* atau lebih baik tidak ada *tangent surface* dimana ada sisi ber-radius bertemu/menempel dengan sisi datar.
2. Kesalahan atau rumitnya geometri dapat berpengaruh pada hasil *meshing* dan pada akhirnya akan mempengaruhi *processing*, terjadi *divergence error*, dan sebagainya
3. Penggunaan radiator saat ini dirasa terlalu kecil, radiator yang digunakan saat ini didapatkan dari radiator kendaraan bermotor dengan kubikasi 200cc dan daya 10 kW, sedangkan Mobil Sapuangin Speed 7 menggunakan mesin 600cc dan menghasilkan daya lebih dari 50kW sehingga

rawan terjadinya overheat karena kapasitas radiator tidak sesuai dengan power mesin.

4. Penempatan radiator pada kondisi *existing* kurang tepat, karena menghadap ke atas dan rawan terjadi penumpukan kerikil atau kotoran lain pada radiator *core*. Lebih baik radiator dipasang dengan posisi tegak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Downs, C.M. and Auer, G., **“Formula SAE Cooling System Design and Optimization,”** Mechanical Engineering and Mechanics Department, Drexel University, Philadelphia, PA, 2004.
- [2] LT Andrew Jiear, **“Cooling System Analysis”**, University of New South Wales at the Australian Defence Force Academy, 2008.
- [3] Radiator, **Engine Cooling System**, <http://www.cars.com>, diakses pada tanggal 25 Juli 2019.
- [4] Incropera, **Fundamental of Heat and Mass Transfer 7th Edition**, John Wiley & Sons, Inc, United States.
- [5] Katz, J., 1995, **Race Car Aerodynamics**, Robert Bentley.
- [6] **Mercedes AMG W08 F1**, <http://www.motorsport.com>, diakses pada tanggal 22 Juli 2019.
- [7] P. Fox McDonald, **Fluid Mechanic 8th Edition**
- [8] Wahyu Nugroho, **“simulasi numerik karakteristik aliran 3 dimensi di sekitar single-element airfoil untuk spoiler depan mobil formula sae dengan variasi reynolds number”** Teknik Mesin ITS, 2015.
- [9] Lasse Christoffersen, David Söderblom and Lennart Löfdahl, **“Optimizing the Cooling Air Flow of a Formula Car using CFD”**, EASC 2009, Chalmers University of Technology.
- [10] Elofsson, P, Bannister, M. **“Drag Reduction Mechanisms Due to Moving Ground and Wheel Rotation in Passenger Cars”**, SAE 2002-01-0531, 2002.
- [11] Wiedemann, J. **“The Influence of Ground Simulation and Wheel Rotation on Aerodynamic Drag Optimization – Potential for Reducing Fuel Consumption”**, SAE 960672, 1996.
- [12] Wäschle, A. **“The Influence of Rotating Wheels on Vehicle Aerodynamics – Numerical and Experimental Investigations”**, SAE 2007-01-0107, 2007.

- [13] Willem Toet, Jonathan Zerihan, “**Ground Effect Aerodynamics of Race Cars**” 2006
- [14] Versteeg, H. K. and Malalasekera, W., “**An Introduction to Computational Fluid Dynamics**”, Pearson 1995.

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Kediri pada tanggal 24 Januari 1996, dari pasangan Bapak Zaenal Arifin dan (Alm.) Ibu Diyah Hari Prayogi. Penulis merupakan anak pertama dari 5 bersaudara. Jenjang pendidikan formal yang pernah ditempuh adalah TK Perwanida MAN 3 Kota Kediri, SDN Burengan 2 Kota Kediri, SMPN 3 Kota Kediri, dan SMAN 1 Kota Kediri.

Pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswa di Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang keahlian Konversi Energi sesuai dengan kelas yang diikuti. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan jenjang pendidikan pada Lintas Jalur S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil bidang minat Rekaya Energi.

Penulis aktif dalam mengikuti berbagai pelatihan *leadership* dan organisasi. Pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis, antara lain: LKMM Pra-TD FTI-ITS, LKMM TD 8 FTI-ITS, PKTI (Pelatihan Karya Tulis Ilmiah). Organisasi yang pernah diikuti oleh penulis, yaitu: Nogogeni D3 Teknik Mesin ITS Team (2015-2016 Sebagai Staff Chassis and Steering), (2016-2017 Sebagai Koordinator Chassis and Steering), ITS Formula Electric (2018 Sebagai Divisi Body and Aerodynamic), dan ITS Team Sapuangan (2018-2019 sebagai divisi Engine and Drivetrain).

Alamat email: hafidhaldiza@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan