

Pengaruh Penambahan *Gurney Flap* pada Airfoil Jenis Mshd pada Mobil *Fastback* dengan Variasi Ketinggian *Gurney Flap* dan Kemiringan Sudut Airfoil Dengan Metode Permodelan CFD

Naufal Ikhsan Alfajri¹, Dominicus Danardono¹, Budi Kristiawan¹

¹Program Studi Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

e-mail address : Naufalikhsanalfajri@gmail.com

Keywords:

Fastback, Aerodinamika, *Rear wing*, *Gurney Flap*, Airfoil, *MSHD* Airfoil, *Computational Fluid Dynamic* (CFD), *Ahmed body*.

Abstract:

Faktor aerodinamika merupakan faktor penting dalam mendesain suatu kendaraan. Faktor aerodinamika menjadi penting karena sangat berpengaruh pada performa kendaraan dan faktor keselamatan dari kendaraan itu sendiri. Salah satu cara untuk meningkatkan faktor aerodinamika pada kendaraan darat (*ground vehicle*) adalah dengan menambahkan rear wing dengan *Gurney Flap*. Penggunaan rear wing dengan *Gurney Flap* ini dapat meningkatkan nilai koefisien *lift* negatif dari suatu kendaraan, sehingga meningkatkan performa mobil pada saat kecepatan tinggi dan pada saat berbelok ataupun mengerem. Penelitian ini akan membahas tentang karakteristik aerodinamik dari salah satu jenis high *lift* airfoil yaitu airfoil MSHD dengan penambahan *Gurney Flap* dengan variasi kemiringan sudut serang dari airfoil, dan ketinggian dari *Gurney Flap*. Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan variasi airfoil yang diberikan yang dipasang pada ahmed body dengan kemiringan sudut rear slant 15° atau menyerupai mobil tipe sedan (*fastback*). Simulasi digunakan dengan computational fluid dynamic (CFD) dengan variasi 3 kemiringan sudut airfoil yaitu 0°, 7,5°, dan 15° dan 5 ketinggian *Gurney Flap* sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% dari panjang chord line untuk setiap kemiringan sudut airfoil. Hasil dari penelitian ini, didapat nilai koefisien *lift/drag* terendah pada variasi kemiringan sudut airfoil 15° dengan ketinggian *Gurney Flap* 2% dengan nilai -1,465 yang terdapat peningkatan nilai sebesar 17,77% dibandingkan dengan tanpa *Gurney Flap*.

PENDAHULUAN

Aerodinamika otomotif merupakan studi aerodinamika untuk kendaraan darat (*ground vehicle*). Tujuan utama dari studi ini adalah mengurangi gaya hambatan (*drag*), meningkatkan penghematan bahan bakar, mencegah gaya angkat (*lift*) yang tidak diinginkan, dan meminimalkan penyebab ketidakstabilan aerodinamik lainnya pada kecepatan tinggi. Selain itu, memperhitungkan faktor aerodinamis pada desain kendaraan darat untuk mendapatkan kontrol yang baik pada kemudi dan pengereman [1].

Pada kecepatan tinggi, gaya angkat (*lift*) pada suatu mobil dapat membuat ban mobil menjadi terangkat sehingga ban kurang mencekam permukaan tanah dan menyebabkan mobil sulit untuk dikendalikan dan menjadi tidak stabil [2].

pada tahun 1965 Jim Hall memperkenalkan penggunaan airfoil yang disusun terbalik pada mobil sport Chaparral-nya untuk mengembangkan aerodinamis downforce dan memberikan pengereman aerodinamis.

Berkebalikan dengan *lift*, downforce merupakan gaya dari udara yang menekan sisi bagian atas mobil agar roda selalu menempel dengan tanah, sehingga mengurangi slip antara roda dan tanah ketika dalam kecepatan tinggi [3].

Berbagai komponen aerodinamis telah diteliti secara beragam pada peningkatan downforce. Namun, hanya airfoil depan dan belakang serta sayap depan dan belakang pada mobil yang memberikan metode analisis aerodinamis secara teoritis [4]. Tetapi, seperti yang telah disoroti oleh Agathangelou dan Gascoyne [5], penelitian aliran sayap maupun airfoil bagian depan dipersulit oleh faktor tanah (karena jaraknya dekat dengan tanah) dan dekat dengan roda depan. Oleh karena itu, penelitian komponen aerodinamis bagian depan baik sayap maupun airfoil sulit untuk dilakukan dengan metode teoritis yang sudah ada. Untuk sayap bagian belakang, terlihat aliran yang relatif lebih 'bersih' karena terpasang lebih tinggi dari badan kendaraan dan tidak ada bagian lain dari kendaraan, sehingga memungkinkan penelitian

<https://dx.doi.org/10.20961/mekanika.v19i1.40005>

Submitted February 2020; Revised March 2020; Published March 2020

© Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika. All right reserved.

untuk fokus mencari downforce yang nilainya akan tinggi pada bagian tersebut. Oleh karena itu, profil sayap belakang menjadi lebih mudah, karena tidak ada kompromi desain aerodinamis lainnya yang masuk ke bagian perhitungan.

Airfoil dengan hasil *lift* yang tinggi, memiliki beberapa kekurangan seperti kerumitan desain, kesulitan produksi, dan biaya perawatan, sehingga sulit untuk diaplikasikan secara massal dalam pesawat komersial maupun militer. Oleh karena itu, ada metode yang sering digunakan yaitu menambahkan perangkat sederhana seperti *Gurney Flap* (GF) untuk meningkatkan kinerja aerodinamis airfoil. Pengemudi mobil balap Dan Gurney, menggunakan flap ini pada airfoil yang disusun secara terbalik untuk meningkatkan downforce, sehingga meningkatkan daya cekam ban selama akselerasi, pengereman, dan menikung [6].

Wang [6] merangkum beberapa penelitian tentang pengaruh *Gurney Flap* terhadap koefisien *lift* dan *drag* pada suatu airfoil. Salah satunya, tentang pengaruh *Gurney Flap* pada airfoil dengan variasi ketinggian yang diambil dari presentase nilai chord line (%c) dari airfoil NACA0012 terhadap nilai koefisien *lift* dan *drag*. Ketinggian yang dipakai pada penelitian ini yaitu 0,5%c, 1%c, 1,5%c, 2%c, dan 3%c. Hasilnya, untuk nilai koefisien *lift* dan *drag* terbesar, tentu saja didapatkan pada ketinggian 3%c, namun untuk nilai C_L/C_D terbesar terdapat pada ketinggian 2%*C* dengan nilai 35%. Selain itu, untuk ketinggian 3%c juga terjadi stall atau penurunan yang cukup tajam setelah C_L mencapai nilai 1.75. Oleh karena itu, dapat disimpulkan apabila *Gurney Flap* memiliki ketinggian diatas 2%c hanya akan meningkatkan nilai *drag* yang cukup tinggi.

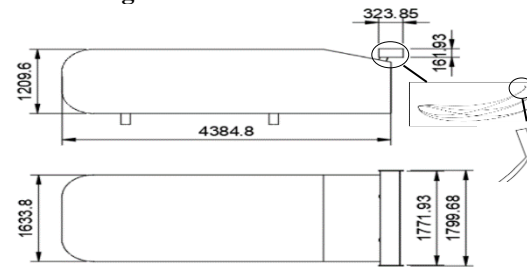
Pakkam [4] melakukan penelitian pengaruh airfoil jenis MSHD terhadap koefisien *lift* dan *drag* menggunakan wind tunnel dan XFOIL pada bilangan Reynolds 300.000 atau sekitar 33 mph dan membandingkannya dengan beberapa jenis airfoil lainnya. Hasilnya, nilai downforce airfoil MSHD lebih stabil dibandingkan dengan airfoil Wortmann FX74-C15-140 dan Selig 1223 seiring dengan kemiringan sudut yang diberikan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *Gurney Flap* pada *rear wing* mobil tipe *fastback* terhadap performa aerodinamis mobil. Penelitian ini menggunakan geometri permodelan *Ahmed body* untuk

menyederhanakan bentuk mobil tipe *fastback* dengan aplikasi permodelan 3D Ansys Fluent.

Perancangan Model



Gambar 1 Hasil desain model

Desain pada model menggunakan *Ahmed body* yang di *scale up* ukurannya agar menyerupai dimensi mobil Honda City. *Ahmed body* dalam penelitian ini di *scale up* sebesar 4,2 kali dan ditambahkan *rear wing* dengan *Gurney Flap*. Berikut adalah dimensi dari model yang digunakan:

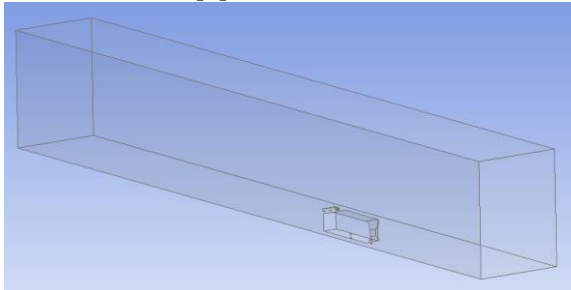
Tabel 1

Desain	Dimensi (mm)
Tinggi <i>Ahmed body</i>	1419,6
Panjang <i>Ahmed body</i>	4384,8
Lebar <i>Ahmed body</i>	1633,8
Tinggi <i>endplates</i>	161,9
Panjang <i>endplates</i>	323,8
Tebal <i>endplates</i>	13,8
Tinggi <i>endplates</i>	161,9
Panjang <i>chord line</i> (C)	289,8
Lebar <i>airfoil</i> (W)	1771,9

Boundary Condition & Meshing

Boundary condition dari pemodelan *ahmed body* mengikuti penelitian Banga [1] yakni uniform velocity pada inlet dan uniform pressure pada outlet, symmetry pada sumbu ZY. Batas kondisi yang ditetapkan adalah inlet velocity 40 m/s, intensitas turbulen 1% dan rasio viskositas turbulen 10 pada inlet, intensitas turbulen 5% dan rasio viskositas turbulen adalah 10 pada outlet. Densitas fluida 1,225 kg/m³, temperatur 288,16 K dan viskositas 1,789e-0.5 kg/ms. Sedangkan solution method yang digunakan adalah antara lain coupled, least square cell, standard pressure, turbulence dissipation pada 100 iterasi pertama adalah first order upwind, kemudian second order upwind pada 500 iterasi selanjutnya. Turbulence viscosity factor adalah 0,8 pada 100 iterasi pertama dan 0,95 pada 500 iterasi selanjutnya.

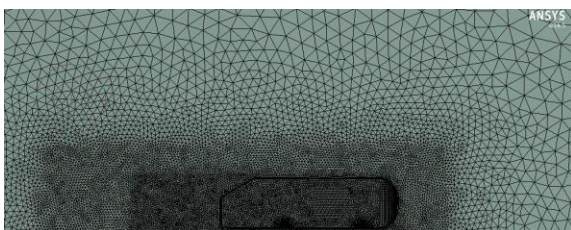
Untuk domain enclosure yang digunakan mengacu pada penelitian Madharia yakni dengan menggunakan acuan panjang model (L) untuk membuat enclosure. Panjang enclosure terhadap permukaan depan model kedepan adalah $2,4L$, kebelakang adalah $6,6L$, keatas adalah $1,5L$ dan lebar adalah $2L$ [7].



Gambar 2 Enclosure model [8]

Detail mesh pada penelitian ini sebagai berikut *relevance center: coarse, smoothing: high, transition: slow, initial seed: Active assembly, min. size: 1 mm, max size: 250 mm, advanced size function: proximity and curvature.*

Face sizing dilakukan pada permukaan model. Area tersebut adalah pada roda dengan limited meshing 2 mm dan ahmed body 10 mm. Body influenced pada ahmed body yaitu wake box, underbody box dan car box. Wake box ditambahkan pada daerah *rear slant* yang mempunyai pengaruh besar pada wake dan separasi aliran. Underbody box ditambahkan pada daerah roda dan car box ditambahkan menutupi *Ahmed body*. Batas *sizing* dari meshing car box 15 mm, wake box 10 mm dan underbody box 10 mm. Dimensi car box adalah (500x2350x350) mm, wake box (360x750x250) mm dan underbody-box (50x1100x200) mm. Pengaruh body influence dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3 Pengaruh *body influence* pada *Ahmed body*

Validasi Permodelan

Validasi pada penelitian ini menggunakan Ahmed Body dengan rear slant 15° pada kecepatan 40 m/s. Validasi dilakukan untuk

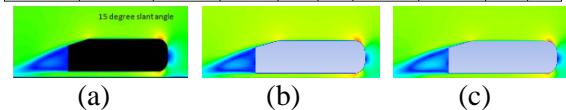
mengetahui seberapa valid nya penelitian ini jika dibandingkan dengan penelitian yang sudah ada [1]. Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai C_L/C_D pada *rear slant* 15° yang terdapat pada penelitian tersebut dengan yang dilakukan pada penelitian ini.

Selain itu, dilakukan *scale up* pada model yang diteliti sehingga bisa didapatkan hasil identik dengan mobil Honda City. Setelah dilakukan *scale up* simulasi, dilakukan pada kecepatan inlet velocity sebesar 90km/jam atau 25m/s, Densitas fluida $1,225 \text{ kg/m}^3$, temperatur 288,16 K dan viskositas $1,789 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^4$.

Berikut hasil validasi:

Tabel 2 Hasil Validasi Ahmed Body

Penelitian [1]		Simulasi		Error(%)		Simulasi Scaled up		Error(%)	
C_l	C_d	C_l	C_d	C_l	C_d	C_l	C_d	C_l	C_d
0,185001	0,246833	0,17629	0,2587	4,7	4,8	0,18610	0,25472	0,59	2,9



Gambar 4 Hasil Kontur Kecepatan (a)Penelitian Baga (b) Hasil Validasi (c) Hasil Validasi Setelah Scale Up

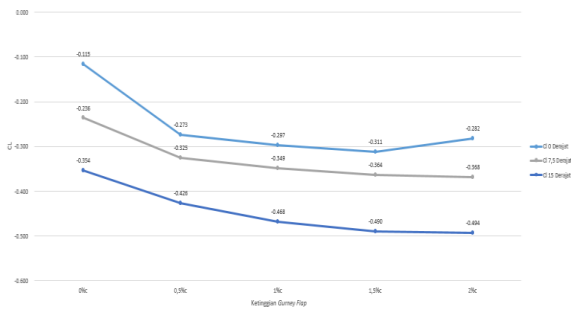
Tabel 2 menunjukkan perbandingan antara hasil C_l dan C_d yang didapat sebelum dan sesudah di scale up dengan hasil dari penelitian. Hasilnya, presentase error yang dilakukan pada penelitian ini tidak sampai 5% baik untuk model Ahmed Body yang sudah di scale up maupun belum. Gambar 4 Menunjukkan hasil distribusi kecepatan antara penelitian [1] dan simulasi yang dilakukan. Hasilnya, distribusi kecepatan yang digambarkan dengan kontur warna tidak berbeda jauh. Sehingga bisa dikatakan penelitian ini sudah valid metode perhitungannya dan dapat dilakukan penambahan airfoil dan *Gurney Flap* pada model yang akan diteliti.

Setelah metode yang digunakan sudah valid, lalu ditambahkan *rear wing* dengan variasi kemiringan sudut airfoil MSHD sebesar 0° , $7,5^\circ$ dan 15° (dihitung dari arah kecepatan udara/sumbu horizontal) dan variasi ketinggian *Gurney Flap* sebesar 0%c, 0,5%c, 1%c, 1,5%c, 2%c untuk setiap variasi kemiringan sudut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapatkan merupakan hasil simulasi yang dilakukan dengan sudut serang 0° , $7,5^\circ$, 15° dan ketinggian *Gurney Flap* yaitu 0%, 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% dari panjang chord line.

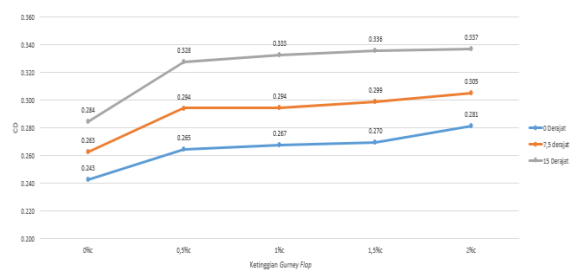
a) Hasil C_L pada Model



Gambar 4 Koefisien lift tiap model uji

Gambar 4 Menunjukkan hasil koefisien lift C_L pada setiap variasi. Nilai C_L terendah terdapat pada airfoil dengan kemiringan sudut 15° dan ketinggian *Gurney Flap* 2%c dengan nilai -0.494 dan nilai C_L tertinggi terdapat pada airfoil tanpa kemiringan sudut dan tanpa *Gurney Flap* dengan nilai -0.115. Selain itu, peningkatan nilai koefisien lift C_L negatif juga berbanding lurus dengan kemiringan sudut dari airfoil. Dimana airfoil dengan kemiringan sudut 0° memiliki nilai C_L yang lebih tinggi untuk setiap ketinggian *Gurney Flap* jika dibandingkan dengan airfoil dengan kemiringan sudut $7,5^\circ$, dan begitu pula airfoil dengan kemiringan sudut $7,5^\circ$ memiliki nilai C_L yang lebih tinggi untuk setiap ketinggian *Gurney Flap* jika dibandingkan dengan airfoil dengan kemiringan sudut 15° . Untuk airfoil dengan kemiringan sudut 0° , nilai C_L terendah terdapat pada variasi *Gurney Flap* dengan ketinggian 1,5%c, dan pada kemiringan sudut $7,5^\circ$ dan 15° terdapat pada variasi *Gurney Flap* dengan ketinggian 2%c.

b) Hasil C_D pada Model

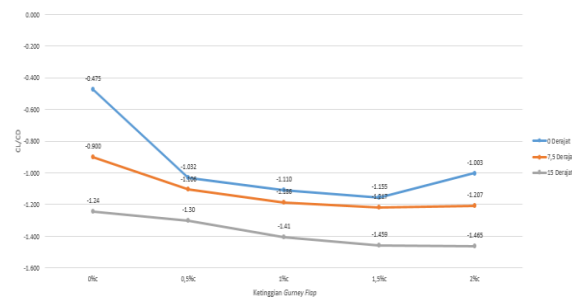


Gambar 5 Koefisien drag tiap model uji

Gambar 5 Menunjukkan hasil koefisien drag C_D pada setiap variasi. Nilai C_D terendah terdapat pada airfoil tanpa kemiringan sudut dan tanpa *Gurney Flap* 0%c dengan nilai 0.237 dan nilai C_D tertinggi terdapat pada airfoil dengan kemiringan sudut 15° dan *Gurney Flap* dengan ketinggian 2%c dengan nilai 0.337. Selain itu,

peningkatan nilai drag C_D juga berbanding lurus dengan kemiringan sudut dari airfoil. Dimana airfoil dengan kemiringan sudut 0° memiliki nilai C_D yang lebih rendah untuk setiap ketinggian *Gurney Flap* jika dibandingkan dengan airfoil dengan kemiringan sudut $7,5^\circ$, dan begitu pula airfoil dengan kemiringan sudut $7,5^\circ$ memiliki nilai drag C_D yang lebih rendah untuk setiap ketinggian *Gurney Flap* jika dibandingkan dengan airfoil dengan kemiringan sudut 15° . Untuk airfoil dengan kemiringan sudut 0° , $7,5^\circ$, dan 15° nilai drag C_D tertinggi terdapat pada variasi *Gurney Flap* dengan ketinggian 2%c.

c) Hasil Ratio C_L / C_D pada Model



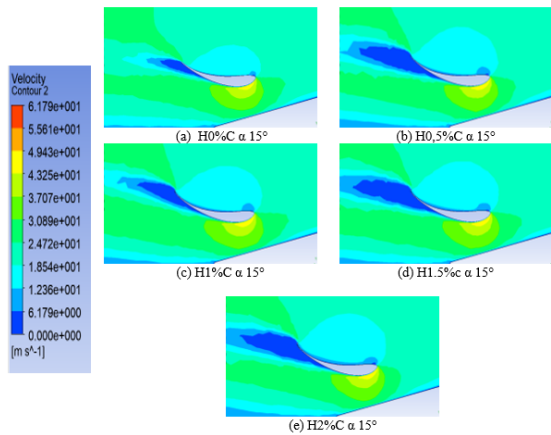
Gambar 6 Koefisien C_L / C_D

Berdasarkan Gambar 6 Semakin tinggi ketinggian *Gurney Flap* yang diberikan, ternyata tidak selalu menunjukkan hasil yang konsisten. Contohnya pada variasi airfoil dengan ketinggian 2%c dan tanpa kemiringan sudut (0°) memiliki nilai C_L / C_D yang lebih kecil dibandingkan dengan variasi ketinggian lain yang diberikan. Hal tersebut dapat terjadi karena lebih banyaknya gelembung separasi yang terjadi pada aliran di bagian *leading edge* dibandingkan aliran yang berpisah secara bertahap dari *leading edge* menuju ke *trailing edge* [6]. Nilai C_L / C_D terendah terdapat pada airfoil dengan kemiringan sudut 15° dan ketinggian *Gurney Flap* sebesar 2%c dengan nilai -1.465.

d) Perbandingan Hasil Uji Pada Distribusi Kecepatan dan Tekanan

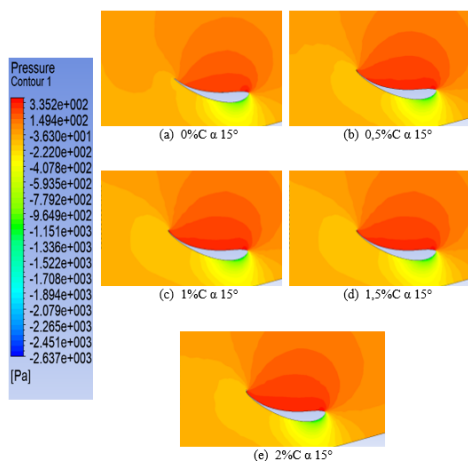
Mengamati karakteristik aerodinamika pada suatu benda dapat dengan cara menganalisa distribusi kecepatan maupun tekanan yang didapat dari hasil simulasi. Distribusi kecepatan maupun tekanan pada simulasi kali ini digambarkan dengan kontur warna yang berbeda beda. Pada bagian ini, nilai distribusi kecepatan maupun tekanan yang rendah maupun tinggi, dapat diwakilkan dengan kontur warna yang berbeda beda. Berikut adalah kontur kecepatan

dan tekanan dari hasil simulasi pada sudut serang 15° dan ketinggian *Gurney Flap* 0%*c*, 0,5%*c*, 1%*c*, 1,5%*c* dan 2%*c*.



Gambar 7 Hasil kontur kecepatan

Gambar 7 menunjukkan perbedaan distribusi kecepatan yang diberikan oleh airfoil tanpa *Gurney Flap* dan dengan *Gurney Flap*. Berdasarkan gambar tersebut, dapat dilihat bahwa airfoil dengan penambahan *Gurney Flap* mampu memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap distribusi kecepatan pada airfoil. Bagian atas airfoil, memiliki kontur kecepatan lebih rendah dibandingkan bagian bawah airfoil. Hal ini ditunjukkan dengan bagian atas airfoil berwarna biru dengan kecepatan yang rendah berkisar antara 0m/s sampai 18,54m/s sementara bagian bawah airfoil yang lebih tinggi kecepataannya berada di kecepatan 24,72m/s sampai 49,43m/s. Berdasarkan gambar, airfoil yang diberikan *Gurney Flap* dengan ketinggian 2%*c* memiliki kontur warna biru muda yang paling besar luasannya, sehingga dianggap memberikan perubahan paling besar pada karakteristik airfoil.



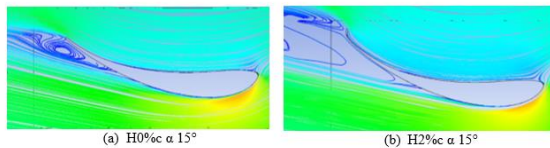
Gambar 8 Hasil kontur tekanan

Gambar 8 menunjukkan hasil distribusi tekanan yang didapat dari variasi uji yang diberikan. Kontur tekanan menjelaskan tentang bagian distribusi tekanan yang dihasilkan oleh variasi uji mulai dari tekanan ter tinggi hingga ter rendah. Tekanan tinggi dalam gambar tersebut direpresentasikan dengan warna oranye-merah dengan nilai -0,363 Pa sampai 335,2 Pa, sedangkan untuk daerah bertekanan rendah diberikan warna hijau-kuning dengan nilai -0,001151 Pa sampai -0,034078 Pa. Berdasarkan gambar, terlihat sekali perbedaan distribusi tekanan antara airfoil yang ditambahkan *Gurney Flap* dan yang tidak. Untuk bagian airfoil yang tidak diberikan *Gurney Flap* memiliki daerah yang berwarna oranye-merah jauh lebih luas pada bagian atas airfoil dibandingkan dengan airfoil tanpa *Gurney Flap*.

Berdasarkan hasil simulasi, nilai koefisien *lift* negatif terus naik nilainya sebanding dengan variasi ketinggian *Gurney Flap* yang diberikan hingga mencapai nilai -0.494. Hal tersebut dapat dijelaskan oleh **Gambar 7** dimana daerah yang memiliki kecepatan yang rendah di bagian atas airfoil paling besar daerahnya dibandingkan dengan variasi lainnya, dan begitu pula oleh **Gambar 7** dimana daerah yang memiliki tekanan yang tinggi pada bagian atas airfoil paling besar daerahnya dibandingkan dengan variasi lainnya. Hal tersebut terjadi sesuai dengan hukum Bernoulli dimana ada kecepatan yang rendah maka akan menghasilkan tekanan yang tinggi atau dalam hal ini dapat menciptakan *downforce*. Selain itu, perbedaan tekanan antara kedua sisi airfoil juga menimbulkan adanya *dragforce* yang merupakan suatu kerugian. Hal ini dibuktikan dengan data hasil simulasi bahwa ada peningkatan nilai koefisien *drag* hingga mencapai nilai 0.337.

e) Analisa Pola Aliran Udara

Pada bagian ini akan dilakukan perbandingan pola aliran udara antar variasi uji yang diberikan. Aliran udara akan di analisa untuk mengetahui karakteristiknya pada setiap variasi uji yang diberikan, dan apakah nilainya sesuai dengan teori yang ada. Pada penambahan airfoil dan *Gurney Flap* tentu akan sangat berpengaruh pada pola aliran udara, terutama dalam terbentuknya separasi pada aliran udara [9]. Dalam analisa ini terdapat *Streamline* yang merupakan suatu bentuk aliran yang arah alirannya menghantam mobil, atau berlawanan arah dengan permukaan mobil.



Gambar 9 Hasil pola aliran udara

Gambar 9 Menunjukkan perbedaan karakteristik terhadap variasi uji yang diberikan terhadap pola aliran. Pada analisa ini, airfoil dengan kemiringan sudut 15° dan *Gurney Flap* dengan ketinggian $2\%c$ berhasil menciptakan separasi aliran dan membuat aliran mengikuti bentuk dari airfoil mulai dari bagian *leading edge* sampai *trailing edge*. Perbandingan yang paling terlihat antar variasi uji adalah ukuran dari gelembung separasi atau lapisan *wake* yang ada. Pada airfoil tanpa *Gurney Flap*, sudah mulai terjadi *wake* sehingga menciptakan *drag* yang bentuknya semakin besar seiring dengan bertambahnya ketinggian dari variasi *Gurney Flap* yang diberikan. Disini lain, semakin tinggi *Gurney Flap* yang diberikan, maka semakin tinggi pula aliran terangkat dan semakin baik pula separasi yang terjadi sehingga nilai koefisien *lift* (C_L) negatif akan semakin tinggi. Hal ini terlihat pada airfoil dengan ketinggian *Gurney Flap* $2\%c$ dimana ketika terjadi separasi, aliran di bagian bawah airfoil mulai naik secara bertahap mengikuti bentuk dari airfoil.

KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan desain *Ahmed body* dan airfoil jenis MSHD dan simulasi aerodinamika, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. *Gurney Flap* mampu meningkatkan nilai koefisien lift C_L negatif dengan nilai yang cukup besar, dan peningkatan nilai koefisien lift negatif sebanding dengan bertambahnya ketinggian variasi *Gurney Flap* yang diberikan. Nilai koefisien lift negatif tertinggi terdapat pada pada airfoil MSHD dengan kemiringan sudut 15° dan ketinggian *Gurney Flap* $2\%C$ dengan nilai 0.499.
2. Selain mampu menambahkan nilai koefisien lift negatif, *Gurney Flap* juga dapat meningkatkan nilai koefisien drag C_D yang mana merupakan faktor yang merugikan. Nilai peningkatan nilai koefisien drag sebanding dengan bertambahnya ketinggian variasi *Gurney Flap* yang diberikan. Nilai koefisien drag tertinggi terdapat pada pada airfoil MSHD dengan kemiringan sudut 15°

dan ketinggian *Gurney Flap* $2\%C$ dengan nilai 0.337.

Daftar Pustaka

- [1] S. Banga, N. A. Ansari, S. Sharma, and R. S. Dungriyal, "CFD Simulation of Flow around External Vehicle : Ahmed Body," vol. 12, no. 4, pp. 87–94, 2015.
- [2] A. T. McDonald, Robert W. Fox, Philip J. Pritchard, "Introduction to Fluid Mechanics, 8th ed. Manhattan", 2011.
- [3] E. L. Houghton and N. B. Carruthers, "Aerodynamics for engineering students. Third edition," 1982.
- [4] S. S. PAKKAM, "High Downforce Aerodynamics for Motorsports," 2011.
- [5] Ben Agathangelou, Mike Gascoyne, "Aerodynamic Design Considerations of a Formula 1 Racing Car," no. 724, 2018.
- [6] J. J. Wang, Y. C. Li, and K. Choi, "*Gurney Flap* — Lift enhancement , mechanisms and applications," vol. 44, pp. 22–47, 2008.
- [7] P. Madharia, M. M. Tiwari, K. Ravi, and A. General, "Computational Simulation of Ahmed Body with Varying Nose radius , Ground height & Rear Slant angle," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 5, pp. 925–932, 2015.
- [8] S. Kesarwani, Y. Jayas, and V. Chhalotre, "CFD Analysis Of Flow Processes Around The Reference Ahmed Vehicle Model," *Int. J. Eng. ,* vol. 3, no. 3, pp. 775–780, 2014.
- [9] L. Tianshu and J. Montefort, "Thin-airfoil theoretical interpretation for *Gurney Flap* lift enhancement," *J. Aircr.*, vol. 44, no. 2, pp. 667–671, 2007.