

Analisis Aerodinamika *Body* Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat Dengan Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics*

* Joshua Sam Jhon S^b, M.S.K. Tony Suryo Utomo^a,

^aMahasiswa Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

^bDosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: joshuasamjhon@gmail.com

Abstrak

Tahanan Aerodinamika, gaya angkat aerodinamik, dan momen angguk aerodinamik memiliki pengaruh yang bermakna pada unjuk kendaraan pada kecepatan sedang dan tinggi. Peningkatan penekanan pada penghematan bahan bakar dan pada penghematan energi telah memacu keterkaitan baru dalam memperbaiki unjuk kerja aerodinamika pada jalan raya. Seiring dengan terus berkembangnya teknologi, para engineer industri otomotif berusaha menekan koefisien gaya tahanan (C_d) seminimal mungkin, sehingga konsumsi bahan bakar dapat ditekan. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan upaya perancangan *body* mobil yang lebih aerodinamis dan mendesain kembali mobil Antawirya Turangga Veda terdahulu dengan nama Antawirya Turangga Veda 2, mensimulasikan dan membandingkan hasil simulasi dalam hal ini nilai drag *coefficient* pada kedua desain, serta mengetahui pola aliran udara di sekitar *body* mobil. Simulasi aerodinamika mobil dilakukan di dalam wind tunnel yang ditetapkan sebagai domain komputasi dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Menggunakan metode turbulen k-epsilon realizable standard wall function, yang ditentukan berdasarkan validasi pada fenomena aliran streamline. Menggunakan metode diskretisasi second order upwind untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Jumlah masing-masing *grid* untuk mobil Antawirya Turangga Veda terdahulu dan Antawirya Turangga Veda 2 adalah sebesar 875565 dan 1030229. Hasil dari simulasi menunjukkan penurunan pada nilai drag *coefficient* mobil Antawirya Turangga Veda 2 terhadap mobil Antawirya terdahulu, yaitu pada kecepatan 40 km/h terjadi penurunan drag *coefficient* sebesar 19,37 %, pada 50 km/h penurunan sebesar 19,43 %, pada 60 km/h penurunan sebesar 19,51 %, pada 70 km/h penurunan sebesar 19,56 %. Fenomena vortisitas terjadi pada bagian belakang *body* mobil, dimana vortisitas pada mobil Antawirya Turangga Veda 2 lebih sedikit dibandingkan mobil Antawirya Turangga Veda terdahulu. Hal ini dikarenakan *body* mobil Antawirya Turangga Veda 2 lebih aerodinamis.

Kata Kunci: Aerodinamika, *Computational Fluid Dynamics* (CFD), *Drag Coefficient*, vortisitas

1. Pendahuluan

Aerodinamika (ilmu gaya gerak) berasal dari bahasa Yunani yaitu air = udara dan dynamic = gaya gerak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa aerodinamika adalah ilmu yang mempelajari tentang Bergeraknya suatu benda di dalam udara. Ilmu gaya udara merupakan lanjutan dari ilmu yang lebih tua yaitu ilmu gaya gerak air atau hidrodinamika dan ilmu gaya gerak udara ini erat hubungannya dengan beberapa ilmu yang lainnya yaitu ilmu alam (fisika), ilmu pasti (matematika), ilmu gaya (mekanika), dan ilmu cuaca (meteorologia) yang memberikan keterangan-keterangan azasi tentang udara yang diam khususnya tentang perubahan-perubahan yang dialami udara jika ketinggian bertambah. Pada 1866 Francis Wenham menyatakan untuk pertama kalinya dalam sejarah pengaruh rasio aspek aerodinamika terbatas pada sayap. Dia ber teori bahwa sebagian besar sayap mengangkat terjadi dari bagian dekat tepi dan juga sayap yang dekat sangat efisien. *Computational Fluid Dynamics* or CFD adalah menganalisa sistem mengenai aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena reaksi kimia yang berarti simulasi dasar komputer. Tekniknya sangat kuat dan terbentang selebar jangkauan area aplikasi industri dan non industri. Pada 1960an sedang berjalan industri aerospace yang memadu dengan teknologi CFD kedalam rancangan, R&D dan manufaktur dari pesawat dan mesin jet. Banyak metode sekarang ini mengaplikasikan rancangan dari mesin pembakaran dalam, ruang pembakaran dari gas turbin dan permukaan. Kemudian industri motor sekarang rutin memprediksi gaya angkat, aliran udara dibawah kap mesin dan lingkungan di dalam mobil dengan CFD. Meningkatnya CFD menjadi komponen vital dalam design dalam proses dan produk industri. Tujuan utama dalam pengembangan lapangan CFD adalah untuk menyediakan kemampuan sebanding dalam alat CAE (Computer Aided Engineering) termasuk analisa tegangan. Dalam menyediakan akses mudah dalam setiap kekuatan permasalahan mereka dikemas dalam bentuk yang canggih dalam memasukkan permasalahan parameter masukan dan menguji hasil. Solusi dari masalah aliran (kecepatan, tekanan, suhu, dll) dapat diartikan pada titik didalam sel. Akurasi dari solusi CFD dikembangkan dalam jumlah sel dalam kisi. Secara umum jumlah sel yang besar akurasi solusinya lebih baik. Kedua akurasi dari solusi dan masalah harganya membutuhkan perangkat keras komputer dan kalkulasi waktu bergantung pada kehalusan dari kisi. Mengoptimalkan mesh juga sering tidak seragam,

variasi area yang sangat lembut terjadi dari poin ke poin dan daerah yang kasar relatif mengalami perubahan yang kecil. Akhirnya banyak program secara otomatis menyaring area kisi yang variasi yang cepat. Jumlah yang besar dari pengembangan dasar kerja masih dilakukan sebelum teknologi ini cukup kuat masuk dalam dagang CFD. Pada saat ini kemampuan CFD masih digunakan untuk merancang bagian antara akurasi yang diinginkan dan harga yang pantas [1].

Bahan bakar minyak mengalami pengurangan dari tahun ke tahun karena minyak bumi merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, rencana penghematan BBM menjadi sangat penting disuarakan dewasa ini. Seiring dengan terus berkembangnya teknologi, para engineer industri otomotif berusaha menekan koefisien gaya tahanan (C_d) seminimal mungkin, sehingga konsumsi bahan bakar dapat ditekan. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan upaya pengembangan perancangan *body* mobil yang lebih aerodinamis dan mendesain kembali mobil Antawirya Residual SAT, mensimulasikan dan membandingkan hasil simulasi dari kedua bentuk desain tersebut. Dalam hal ini nilai drag *coefficient* pada kedua desain, serta mengetahui pola aliran udara di sekitar *body* mobil. Simulasi aerodinamika mobil dilakukan di dalam wind tunnel yang ditetapkan sebagai domain komputasi dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). Analisa ini adalah salah satu dari beberapa solusi teknologi untuk sektor otomotif yang dapat diterapkan untuk percobaan analisa aliran pada *body* mobil. Dengan kemajuan teknologi saat ini, telah ada metode untuk melihat keadaan bentuk *body* menggunakan analisis fluent. Penelitian dilakukan dengan menggunakan suatu metode simulasi numerik menggunakan software Ansys Workbench 16 untuk mengetahui dan memprediksi *coefficient* drag dan gaya drag. Metode ini memungkinkan untuk mendapatkan data yang akurat dan waktu yang lebih cepat dalam analisis.

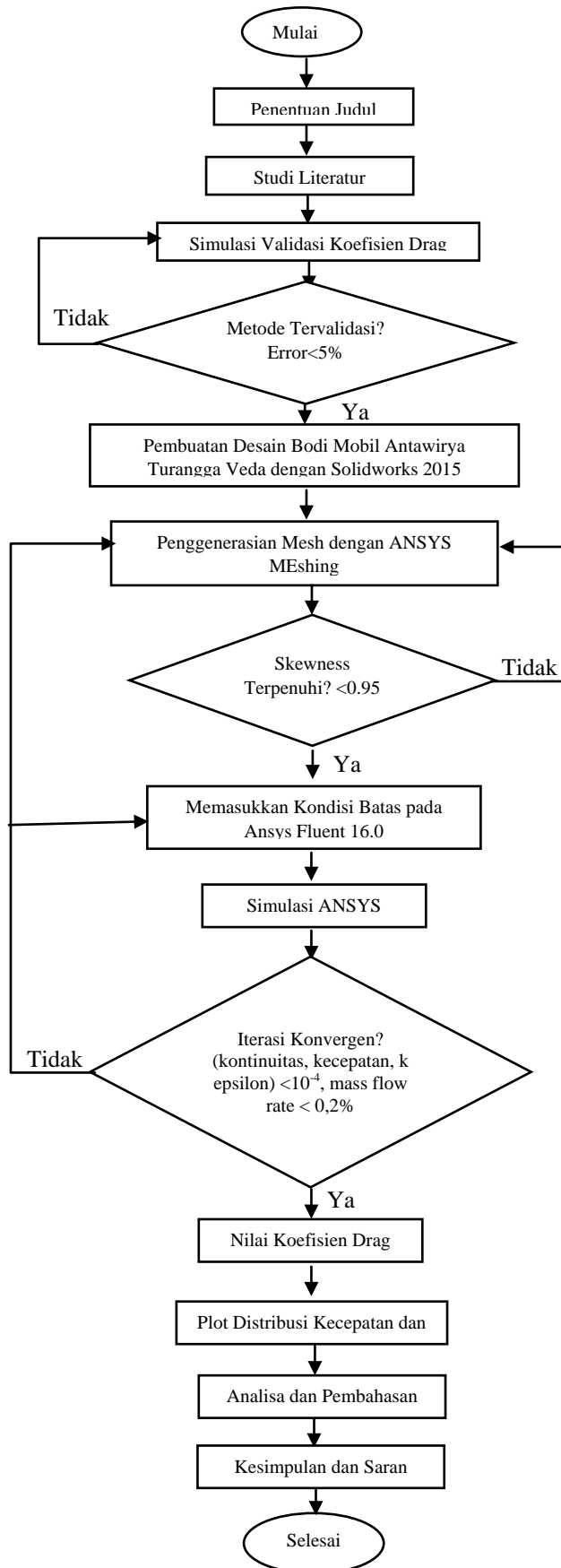
Secara umum zat terbagi kepada 3 fasa: padat (solid), cair (liquid), dan gas (pada temperatur yang tinggi juga terdapat fasa plasma). Zat yang berfasa cair atau gas disebut dengan fluida. Perbedaan antara zat padat dan cairan dibuat atas dasar kemampuan zat untuk menolak suatu tegangan geser (shear stress) atau tangensial yang diterapkan yang cenderung berubah bentuknya. Zat padat dapat menahan tegangan geser (shear stress) yang diterapkan dengan cara berdeformasi, sedangkan cairan mengalami deformasi secara terus menerus di bawah pengaruh tegangan geser dengan nilai sekecil apapun. Pada zat padat, tegangan (stress) sebanding dengan keregangan (strain), tetapi tegangan cairan sebanding dengan laju keregangan (strain rate). Ketika gaya geser (shear force) yang bernilai konstan diberikan, zat padat akan berhenti berdeformasi di beberapa sudut regangan yang tetap, sedangkan cairan tidak pernah berhenti deformasi dan mendekati laju regangan tertentu [2].

Pada kecepatan tinggi seperti, pemanasan aerodinamis kendaraan masuk kembali menjadi parah, dan masalah pemanasan ini mendominasi pikiran dari ilmuwan aerodinamika semakin tinggi. Pikiran pertama mereka adalah konvensional-a sharp pointed, tubuh langsing masuk kembali. Upaya untuk meminimalkan aerotermodinamika berpusat pada pemeliharaan aliran lapisan batas laminar di permukaan kendaraan; aliran laminar seperti menghasilkan pemanasan jauh lebih sedikit daripada aliran turbulen [5]. Tegangan geser sebanding dengan kemiringan profil kecepatan dan merupakan yang terbesar di dinding. Selanjutnya, di dinding, kecepatan u bernilai nol relatif terhadap dinding: ini disebut kondisi tanpa slip dan karakteristik dari semua aliran viskos cairan [8].

Aliran viskos adalah aliran dimana efek viskositas sangat penting, daerah aliran viskos merupakan daerah yang dipengaruhi oleh tegangan geser [9]. Dalam Aerodinamika dikenal beberapa gaya yang bekerja pada sebuah benda dan lebih spesifik lagi pada mobil seperti dikemukakan oleh Djoeli Satrijo "Tahanan Aerodinamika, gaya angkat aerodinamik, dan momen anguk aerodinamik memiliki pengaruh yang bermakna pada unjuk kendaraan pada kecepatan sedang dan tinggi. Peningkatan penekanan pada penghematan bahan bakar dan pada penghematan energi telah memacu keterkaitan baru dalam memperbaiki unjuk kerja aero dinamika pada jalan raya" [3]. Bahan bakar minyak mengalami pengurangan dari tahun ke tahun karena minyak bumi merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, rencana penghematan BBM menjadi sangat penting disuarakan dewasa ini. Seiring dengan terus berkembangnya teknologi, para engineer industri otomotif berusaha menekan koefisien gaya tahanan (C_d) seminimal mungkin, sehingga konsumsi bahan bakar dapat ditekan.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan upaya pengembangan perancangan *body* mobil yang lebih aerodinamis dan mendesain kembali mobil Antawirya Residual SAT, mensimulasikan dan membandingkan hasil simulasi dari kedua bentuk desain tersebut. Dalam hal ini nilai drag *coefficient* pada kedua desain, serta mengetahui pola aliran udara di sekitar *body* mobil. Simulasi aerodinamika mobil dilakukan di dalam wind tunnel yang ditetapkan sebagai domain komputasi dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). Analisa ini adalah salah satu dari beberapa solusi teknologi untuk sektor otomotif yang dapat diterapkan untuk percobaan analisa aliran pada *body* mobil. Dengan kemajuan teknologi saat ini, telah ada metode untuk melihat keadaan bentuk *body* menggunakan analisis fluent. Penelitian dilakukan dengan menggunakan suatu metode simulasi numerik menggunakan software Ansys Workbench 16 untuk mengetahui dan memprediksi *coefficient* drag dan gaya drag. Metode ini memungkinkan untuk mendapatkan data yang akurat dan waktu yang lebih cepat dalam analisis.

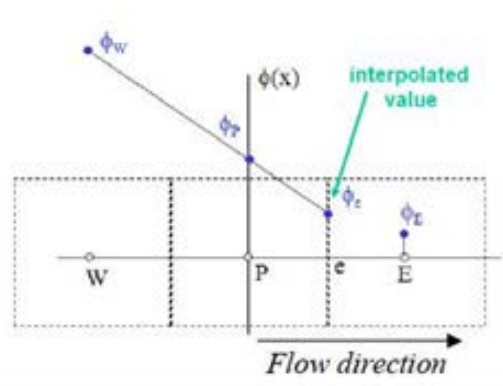
2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN
 2.1 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

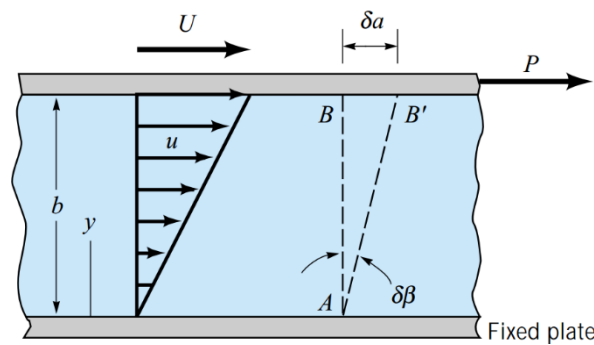
2.2 Simulasi Validasi Koefisien Drag

Formulasi ini membutuhkan penentuan gradien di setiap sel [6]. Gradien ditentukan dari dua sel *upstream* atau sel hulu sebelum sel pusat yang ada. Skema ini lebih akurat dibandingkan *first-order upwind*, tetapi pada daerah yang memiliki gradien tinggi, nilai dari sel *face* bisa berada di luar perkiraan dari rentang nilai sel. Diperlukan pembatasan nilai-nilai *face* prediksi untuk mengatasi hal ini. Ada banyak cara untuk mengimplementasikan skema ini, namun *second-order upwind* dengan pembatas merupakan salah satu skema yang paling banyak digunakan karena merupakan kombinasi dari keakuratan dan kestabilan [7].



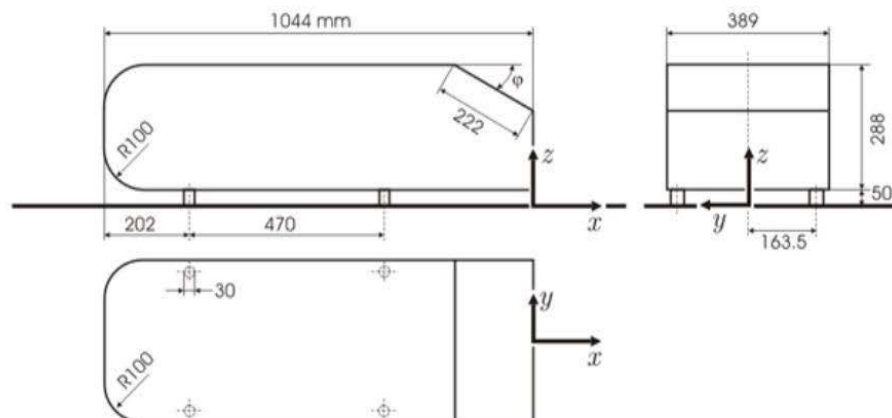
Gambar 2. Skema penentuan nilai sisi sel pada diskretisasi *second order upwind* [7].

Deformasi benda padat (*solid*) akan terjadi jika dikenai tegangan geser, tetapi deformasi yang terjadi pada benda padat tidak berlangsung secara terus menerus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perilaku fluida, jika diberikan gaya geser yang konstan [10]

Dalam melakukan proses simulasi, hal yang penting untuk mengetahui simulasi yang dilakukan sudah tepat atau belum adalah dengan melakukan validasi dari hasil eksperimen atau simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Dalam proses simulasi ini dilakukan validasi untuk mengetahui nilai koefisien *drag* dari *ahmed body* yang dibandingkan dengan literatur, dan jika memiliki nilai *error* kurang dari 5% maka validasi yang dilakukan sudah valid. Jurnal yang digunakan menurut Saurabh Banga [4].



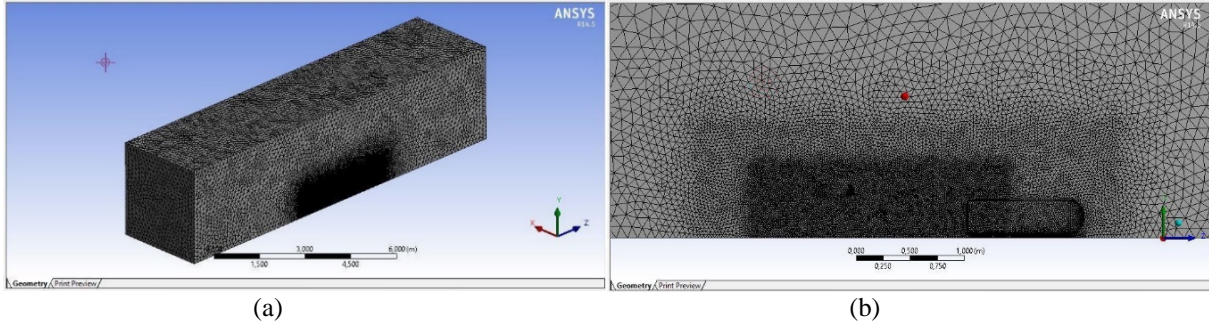
Gambar 4. Geometri *ahmed body* [4]

2.3 Penggenerasian Mesh

Setelah dibuat geometri yang telah ditentukan dari penelitian yang sudah dilakukan, selanjutnya dilakukan penggenerasian *mesh*. Penggenerasian *mesh* dilakukan pada menu *meshing ANSYS* seperti berikut ini:

Ahmed Body 0 deg slant

Skewness pada proses *meshing* ini didapat sebesar 0,796 sehingga *meshing* yang dilakukan dapat diterima karena *skewness* sudah memenuhi standar yang ditetapkan *Fluent* dan jumlah *element* sebesar 3876550.



Gambar 5. (a) Penggenerasian *mesh* ahmed body 0 deg slant tampak 3 dimensi. (b) Perbesaran mesh pada ahmed body 0 deg slant.

Tabel 1. Details Meshing 0 deg slant

| No | Details of mesh | Pilihan | Size |
|----|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Relevance center | Fine | - |
| 2 | Smoothing | High | - |
| 3 | Transition | Slow | - |
| 4 | Initial size seed | Active assembly | Min. size: Default (1,431 mm) |
| | | | Max. size: Default (286,21 mm) |
| 5 | Advanced size function | Proximity and curvature | |
| 6 | Face sizing | Car box | Element size: 30 mm |
| | | Wake box | Element size: 15 mm |

3. Hasil simulasi

Model turbulen yang dipakai dalam simulasi ini adalah model turbulen yang sesuai dengan yang dipakai pada jurnal [4] yaitu model turbulen *realizable k-epsilon non-equilibrium wall functions*. Metode diskretisasi yang digunakan adalah *second order upwind* untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Tabel 2 merupakan data masukan yang diberikan pada *ANSYS Fluent* untuk jenis model turbulen tersebut.

Tabel 2. Parameter Masukan (Banga, Zunaid, Ansari, & Sharma, 2015)

| No | Parameter | Keterangan |
|----|-----------------------------------|---|
| 1 | Massa jenis | 1,225 kg/m ³ |
| 2 | Viscosity | 1,7894.10 ⁻⁵ kg/m ⁴ |
| 3 | Inlet velocity | 40 m/s |
| 4 | Inlet turbulence intensity | 1% |
| 5 | Inlet turbulence viscosity ratio | 10 |
| 6 | Outlet turbulence intensity | 5% |
| 7 | Outlet turbulence viscosity ratio | 10 |

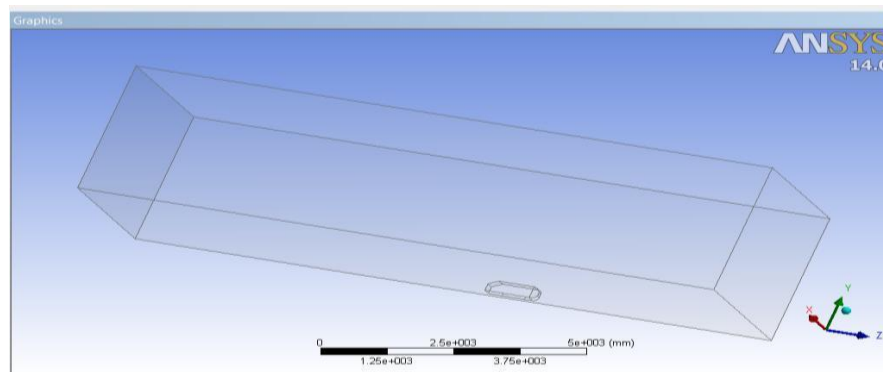
Tabel 3 menampilkan hasil simulasi validasi koefisien *drag* dari *ahmed body*. Dari hasil simulasi didapatkan koefisien *drag* pada masing-masing model turbulen yang dibandingkan dengan jurnal milik Saurabh Banga. Dari perbandingan yang dilakukan didapat *error* kurang dari 5% pada model turbulen *realizable k-e* sehingga model turbulen tersebut akan digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3. Hasil simulasi validasi koefisien *drag* dari *ahmed body*.

| | Cd per degree Slant Angle | | | |
|--|---------------------------|--------|------|--------|
| | 0 | 7,5 | 15 | 30 |
| Literatur (Banga, Zunaid, Ansari, Sharma, & Dungriyal, 2015) | 0,25 | 0,24 | 0,25 | 0,3 |
| Simulasi | 0,26 | 0,24 | 0,25 | 0,3 |
| Δ Cd (terhadap literatur) | 0,01 | 0,0031 | 0 | 0,0042 |
| Error % | 4 | 1,28 | 0 | 1,34 |

3.1 Simulasi Desain Bodi Mobil Antawirya Turangga Veda II

Model yang dikaji dalam masalah ini adalah desain bodi mobil Antawirya Turangga Veda II. Desain bodi mobil Antawirya Turangga Veda II ini merupakan desain bodi mobil tim Antawirya yang baru, dengan tujuan agar desain bodi mobil ini memiliki koefisien drag yang lebih kecil dari desain bodi mobil Antawirya sebelumnya, dengan harapan, jika desain bodi mobil ini digunakan sebagai desain bodi mobil tim Antawirya pada kompetisi mobil irit KMHE berikutnya, maka tim Antawirya Teknik Mesin Undip dapat meraih hasil yang maksimal. Model turbulen yang digunakan yaitu *k-epsilon realiazable non-equilibrium wall functions* berdasarkan hasil validasi yang telah dilakukan pada sub-bab sebelumnya. Simulasi aerodinamika pada mobil ini dengan membuat *wind tunnel* untuk mendeskripsikan arah aliran angin. Geometri *wind tunnel* juga menentukan fenomena yang terjadi pada aliran fluida, yaitu aliran yang melewati bodi mobil sudah berkembang penuh. Gambar 3.11 merupakan gambar bentuk dari *wind tunnel* sesuai jurnal Saurabh Banga. Wind tunnel ini memiliki ukuran 5m untuk panjang dari permukaan depan Ahmed *Body* searah sumbu-z positif, lalu 7,5 m untuk panjang dari permukaan belakang Ahmed *Body* searah sumbu-z negatif, dengan tinggi dan lebar masing-masing 3 m searah sumbu-y positif dan 3 m searah sumbu-x positif, pada permukaan simetrisnya.



Gambar 6. Bentuk *wind tunnel*. [4]

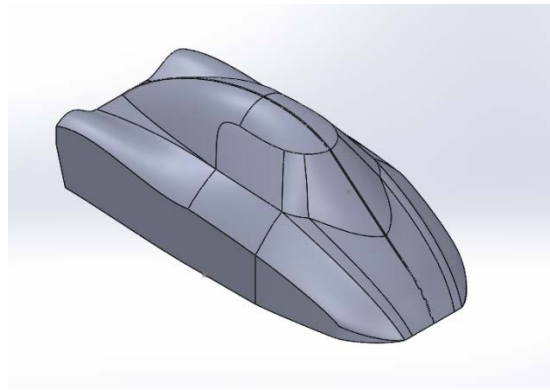
3.2 Pre-processing

Pemodelan geometri pada *Solidworks 2015* dilakukan setelah mendapatkan ukuran dimensi desain bodi mobil yang terdapat pada regulasi resmi Kontes Mobil Hemat Energi kelompok *Urban Concept*. Berikut ini merupakan dimensi desain bodi mobil yang digunakan untuk kompetisi KMHE *Urban Concept*:

Tabel 4. Dimensi Bodi Mobil Peserta Kontes Mobil Hemat Energi *Urban Concept*

| | |
|---|-------------|
| Total Vehicle Height | 100 –130 cm |
| Total <i>Body</i> Width (excluding rear view mirrors) | 120 –130 cm |
| Total Vehicle Length | 220 –350 cm |
| The Whellbase (minimum) | 120 cm |
| Ground Clearance (minimum, driver included) | 10 cm |

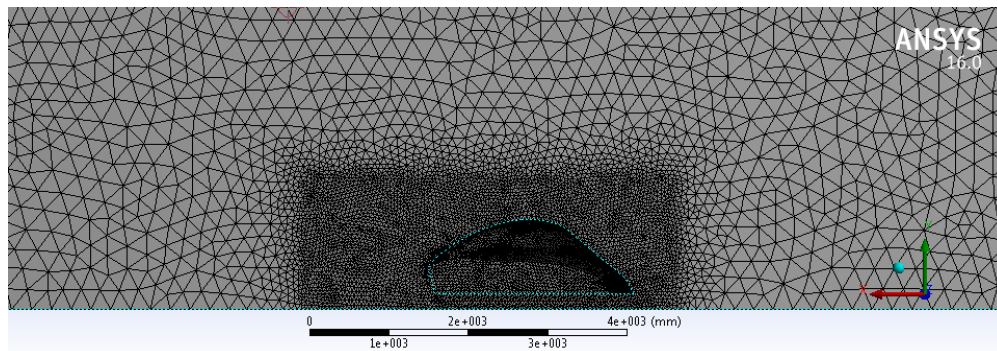
Setelah mengetahui regulasi tentang dimensi yang telah ditetapkan untuk kompetisi tersebut, maka selanjutnya dilakukan proses desain dari bodi mobil Antawirya Turangga Veda II pada *Solidworks 2015*. Berikut ini merupakan gambar-gambar desain bodi mobil dari Antawirya Turangga Veda II.



Gambar 7. Gambar 3D desain bodi mobil Antawirya Turangga Veda II

3.3 Meshing

Penggenerasian mesh dilakukan secara bertahap yaitu membuat mesh pada keseluruhan volume wind tunnel yang telah digabungkan menjadi volume dengan bodi mobil. Selanjutnya adalah merapatkan mesh di dinding bodi mobil membuat geometri kotak yang baru pada design modeller untuk dilakukan proses mesh yang lebih rapat disekitar bodi mobil. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan keakuratan perhitungan pada jenis aliran turbulen. Pada Gambar 6 merupakan hasil dari penggenerasian mesh.



Gambar 8. Penggenerasian mesh mobil.

Dari proses penggenerasian mesh yang dilakukan. Berikut ini merupakan gambar screenshot nilai skewness dari penggenerasian mesh Antawirya Turangga Veda II:

| Details of "Mesh" | | |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------|
| <input type="checkbox"/> | Patch Conforming Options | |
| <input type="checkbox"/> | Patch Independent Options | |
| <input type="checkbox"/> | Advanced | |
| <input type="checkbox"/> | Defeaturing | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Statistics | |
| <input type="checkbox"/> | Nodes | 180435 |
| <input type="checkbox"/> | Elements | 1030229 |
| | Mesh Metric | Skewness |
| <input type="checkbox"/> | Min | 8,8391e-005 |
| <input type="checkbox"/> | Max | 0,7986 |
| <input type="checkbox"/> | Average | 0,20926 |
| <input type="checkbox"/> | Standard Devi... | 0,11378 |

Gambar 9. Nilai skewness dari meshing Antawirya Turangga Veda II

Kemudian adalah memberikan kondisi batas pada masing-masing model. Pemberian kondisi batas ini nantinya akan digunakan acuan dalam memberikan parameter-parameter oleh Fluent.

3.4 Hasil dan Pembahasan

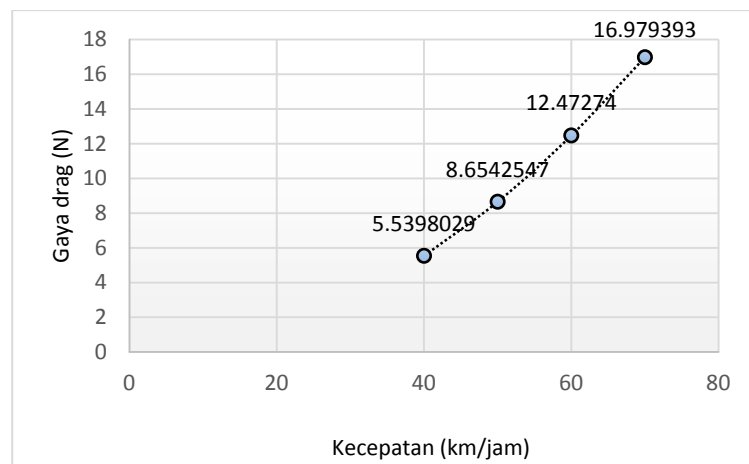
Koefisien drag merupakan hal yang paling penting dalam desain aerodinamika, karena jika koefisien drag semakin kecil, maka hambatan udara terhadap bodi mobil semakin kecil, sehingga mobil diharapkan bisa semakin mudah melaju dengan tenaga dari mesin yang lebih sedikit, dan akhirnya, diharapkan akan mengurangi pemakaian atau konsumsi bahan bakar oleh mesin mobil. Oleh karena itu, desain bodi mobil Antawiryra Turangga Veda II ini diharapkan memiliki koefisien drag yang sekecil mungkin, agar mampu untuk lebih menghemat konsumsi bahan bakar saat mengikuti lomba Shell Eco Marathon mendatang. Tabel 5 menunjukkan nilai koefisien drag dari kedua desain bodi mobil tim Antawiryra, yaitu Antawiryra Turangga Veda I dan juga Antawiryra Turangga Veda II, serta presentasi penurunan nilai koefisien drag-nya masing-masing.

Tabel 5. Nilai Koefisien *Drag* (Cd) terhadap Variasi Kecepatan Fluida pada Desain Mobil Antawiryra Turangga Veda I dan Desain Mobil Antawiryra Turangga Veda II

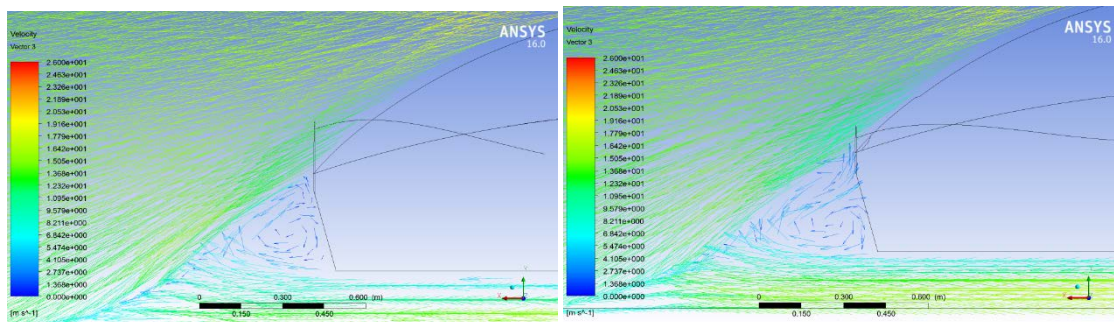
| No | Kecepatan (km/jam) | Bilangan Reynold | Cd Antawiryra Turangga Veda 1 | Cd Antawiryra Turangga Veda 2 | Penurunan Cd (%) |
|----|--------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|
| 1 | 40 | $7,606.10^5$ | 0,26 | 0,21 | 19,37 |
| 2 | 50 | $9,509.10^5$ | 0,26 | 0,21 | 19,43 |
| 3 | 60 | $11,412.10^5$ | 0,26 | 0,21 | 19,51 |
| 4 | 70 | $13,3084.10^5$ | 0,26 | 0,21 | 19,56 |

Dari Tabel 5 dapat diketahui bahwa koefisien drag semakin berkurang dengan meningkatnya kecepatan. Hal ini sesuai dengan persamaan koefisien drag pada persamaan gaya drag dimana koefisien drag berbanding terbalik dengan kuadrat kecepatan, sehingga pengaruh tahanan udara yang paling besar adalah ketika laju kendaraan pada kecepatan yang paling rendah. Selain itu, dari Tabel 5 juga dapat diketahui bahwa terdapat penurunan nilai koefisien drag pada desain Antawiryra Turangga Veda II jika dibandingkan dengan Antawiryra Turangga Veda I. Hal ini sudah sesuai dengan tujuan dari penelitian ini, yaitu mendapatkan nilai koefisien drag yang lebih kecil dari desain sebelumnya.

Setelah kita mengetahui koefisien drag dari Antawiryra Turangga Veda II, kita juga dapat mengetahui drag force dari Antawiryra Turangga Veda II. Gambar 8 menunjukkan grafik dari hubungan drag force dengan kecepatan dari Antawiryra Turangga Veda II.



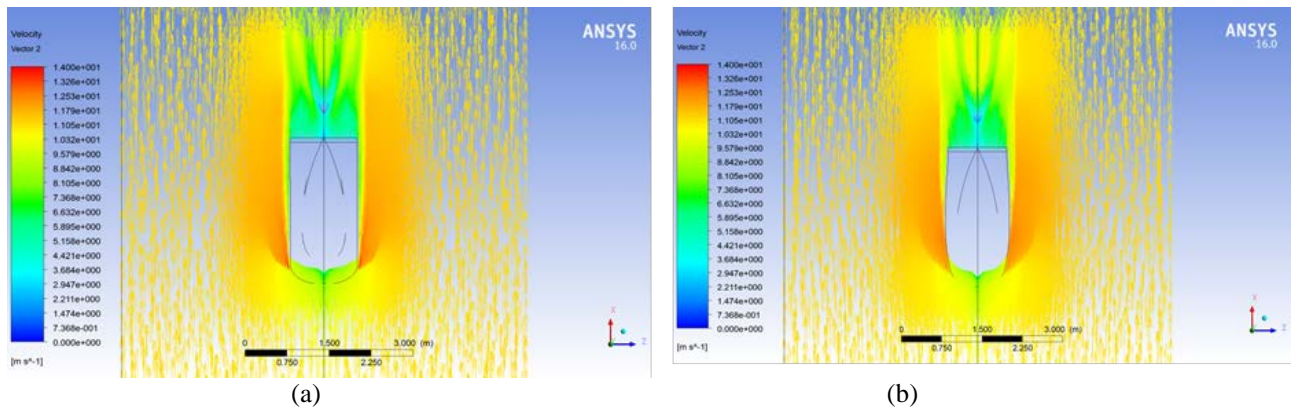
Gambar 10. Grafik Drag Force terhadap Kecepatan



Gambar 11. Vektor kecepatan mobil a. Antawiryra Turangga Veda I, b. Antawiryra Turangga Veda II dengan kecepatan aliran 70 km/jam dengan tampilan diperbesar.

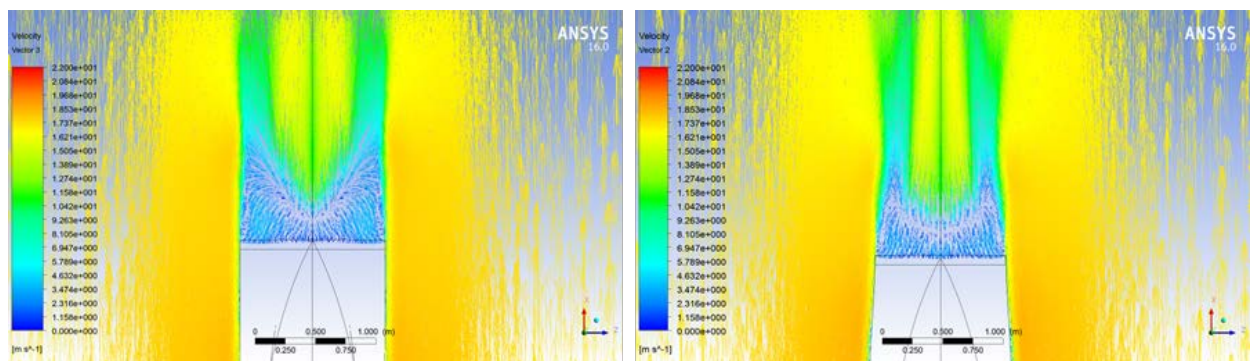
Dari Gambar 8 dapat diketahui bahwa drag force semakin bertambah dengan meningkatnya kecepatan. Hal ini sesuai dengan persamaan drag force pada persamaan pembangun dimana drag force berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan, sehingga pengaruh tahanan udara yang paling besar adalah ketika laju kendaraan pada kecepatan yang paling tinggi. Aliran udara yang melewati bodi mobil akan mengakibatkan terjadinya gradien tekanan antara bagian depan mobil dan bagian belakang mobil, sehingga partikel fluida akan mengalami perlambatan. Hal ini akan menyebabkan terjadinya fenomena separasi aliran fluida

Berdasarkan vektor kecepatan yang diperlihatkan pada Gambar 10 dapat diketahui bahwa terjadi fenomena separasi aliran pada bagian belakang bodi mobil. Adanya separasi aliran akan menyebabkan timbulnya *wake* di belakang bodi mobil yang mengakibatkan *drag*. Oleh karena itu, pengurangan daerah separasi pada mobil Antawirya menjadi hal yang penting untuk diperhitungkan.



Gambar 12. Vektor kecepatan tampak atas pada mobil a. Antawirya Turangga Veda I, b. Antawirya Turangga Veda II pada kecepatan 40 km/jam dengan daerah separasi ketinggian 0m dari bagian bawah mobil

Berdasarkan Gambar 11 dapat diketahui bahwa pada mobil Antawirya Turangga Veda I dan desain mobil Antawirya Turangga Veda II terdapat fenomena separasi pada ketinggian tertentu dari bawah bodi mobil. Fenomena separasi semakin jauh menuju downstream. Daerah terjadinya separasi pada ketinggian 0,2 m dari bagian bawah bodi mobil dari desain bodi mobil Antawirya Turangga Veda II juga terlihat lebih sempit dan meruncing daripada desain bodi mobil Antawirya Turangga Veda I, dikarenakan bentuknya yang lebih streamline, yaitu bentuk bodi mobil mengikuti arah aliran fluida. Disamping itu, karena bentuk bodi mobil Antawirya Turangga Veda II mengikuti arah aliran fluida (streamline), maka fluida (udara) yang mengalir pun dapat lebih mudah mengalir melewati bodi mobil tersebut. Hal ini menyebabkan koefisien drag Antawirya Turangga Veda II menjadi lebih kecil daripada Antawirya Turangga Veda I.



Gambar 13. Vektor kecepatan tampak atas yang diperbesar pada mobil a. Antawirya Turangga Veda I, b. Antawirya Turangga Veda II pada ketinggian 0,2 m dari bawah bodi mobil dengan kecepatan aliran 60 km/jam.

4. Kesimpulan

Koefisien drag pada desain mobil Antawirya Turangga Veda II mengalami penurunan pada tiap-tiap kecepatan dibandingkan dengan mobil Antawirya Turangga Veda I, yaitu pada kecepatan 40 km/jam terjadi penurunan koefisien drag sebesar 19,37 % dari 0,264 menjadi 0,214, kecepatan 50 km/jam terjadi penurunan sebesar 19,43 % dari 0,263 menjadi 0,212, kecepatan 60 km/jam terjadi penurunan sebesar 19,51 % dari 0,262 menjadi 0,211. Dan desain bodi mobil Antawirya Turangga Veda II pada kecepatan 70 km/jam terjadi penurunan sebesar 19,56 % dari 0,2612 menjadi 0,210.

Daftar pustaka

- [1] Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (1995). *The Finite Volume Method*. USA: John Wiley & Sons Inc.
- [2] Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*. USA: McGraw-Hill.
- [3] Satrijo, D. (1999). *Dinamika Kendaraan Modul 1*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [4] Banga, S., Zunaid, M., Ansari, N. A., & Sharma, S. (2015). *CFD Simulation of Flow around External Vehicle: Ahmed Body*. India: IOSR-JMCE.
- [5] Anderson, J. D. (2007). *Fundamentals of Aerodynamics* (5th ed.). USA: McGraw-Hill.
- [6] Ansys. (2009). *Ansys User Guide*. USA: Ansys Inc.
- [7] Bakker, A. (2002). *Computational Fluid Mixing*. USA: John Wiley & Sons Inc.
- [8] White, F. M. (2011). *Fluid Mechanics*. USA: McGraw-Hill.
- [9] Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2003). *Introduction to Fluid Mechanics*. USA: John Wiley & Son Inc.
- [10] Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2002). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. USA: John Wiley & Sons Inc.