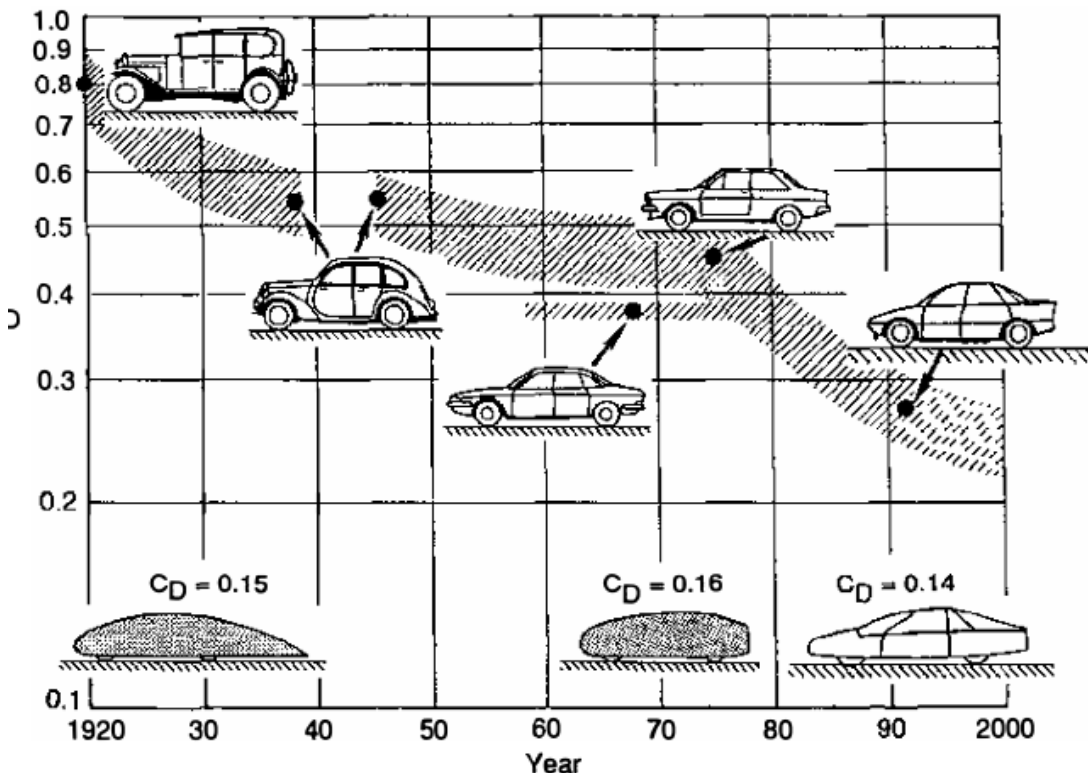


## BAB II

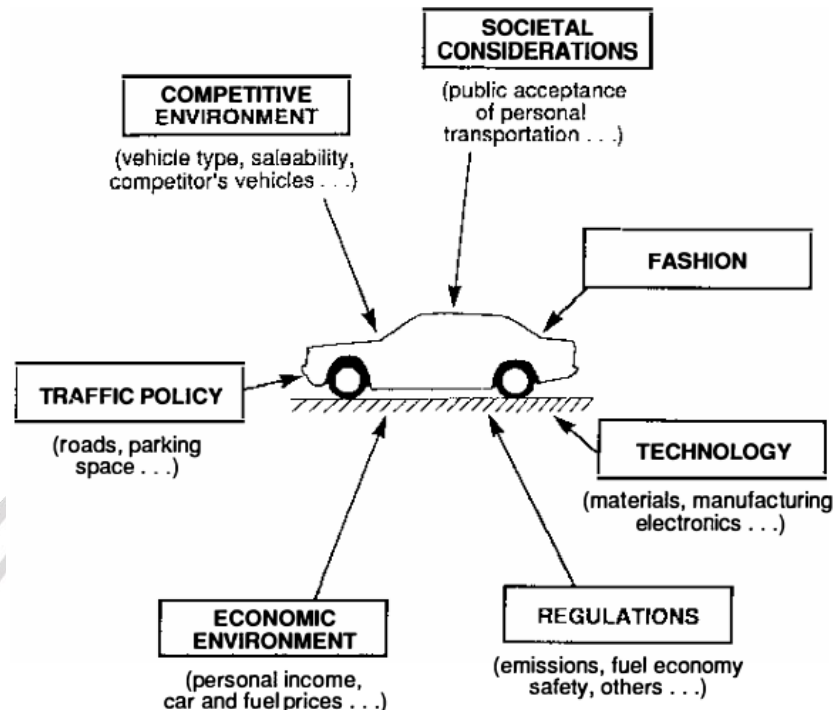
### DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Pada penelitian (Hucho & Sovran, 1993) tentang *AERODYNAMICS OF ROAD VEHICLES* menjelaskan penelitian aerodinamika kendaraan jalan raya selalu lebih maju dari aplikasi praktis. Nilai hambatan menunjukkan hal ini, *Coefficient of Drag* serendah  $C_d = 0.15$  telah ditunjukkan untuk bodi dengan roda sejak 1922 (klemperer **Gambar 2.1**). Namun membutuhkan waktu hingga 40 tahun lamanya untuk memproduksi nilai tersebut pada mobil yang sebenarnya dan itu pun hanya dengan kendaraan untuk kegiatan penelitian. Tetapi menyalahkan industri otomotif karena pemanfaatan potensi teknologi juga tidak dibenarkan. Pada dasarnya konsep apapun kendaraan di pengaruhi oleh beberapa faktor (**Gambar 2.2**) yang secara kolektif di kerucutkan dalam istilah “pasar”(Hucho & Sovran, 1993).



**Gambar 2.1** Riwayat hambatan mobil. Penggunaan skala logaritmik untuk hambatan menekankan betapa sulitnya mencapai nilai hambatan yang sangat rendah. Penelitian telah jauh melampaui apa yang telah direalisasikan dalam produksi (Hucho & Sovran, 1993)

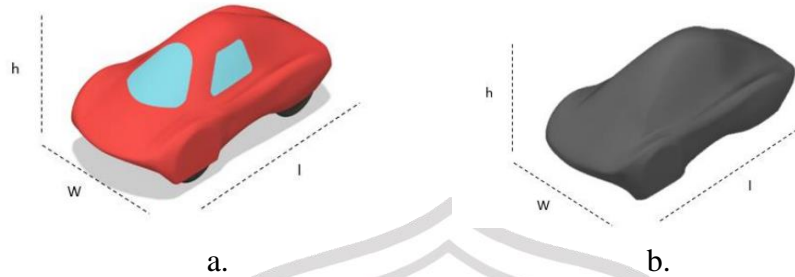


**Gambar 2.2** Konsep mobil dipengaruhi oleh banyak persyaratan yang sifatnya sangat berbeda. Pasar dituntut untuk menyeimbangkan keduanya dengan cermat. (Hucho & Sovran, 1993)

Metode CFD merupakan suatu metode untuk menganalisis sistem yang melibatkan aliran fluida yang kemudian di simulasikan melalui komputer. *Fluent* salah satu jenis program CFD yang menyediakan fleksibilitas *mesh* yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan *mesh* (grid) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Kelebihan dari simulasi ini kita bisa mengetahui nilai *Coefficient of Drag* (CD) dan *Coefficient of Lift* (CL) nya meskipun objek masih dalam bentuk *design*, serta visualisasi yang mudah untuk dipahami.

Dalam penelitian (Aprillia et al., 2023) guna mengetahui nilai *Drag Force* dan *side force* pada dua desain mobil yang berbeda dengan konsep yang sama yakni mobil *urban concept*. Peneliti menganalisis 2 mobil tersebut dengan metode CFD dengan kecepatan aliran udara 13,9 m/s . Kemudian di dapat hasil desain bodi 1 dengan *Drag Force* sebesar 33,021 N dan *Coefficient of Drag* 0,38, sedangkan nilai *side force* nya sebesar 159,023 N dan *coefficient side* 1,03. Lalu desain bodi 2 dengan *Drag Force* 26,207 N dan *Coefficient of Drag* 0,29 sedangkan nilai *side*

*force* nya 151,624 dan *coefficient side* nya 0,82. Hal ini menunjukkan bahwa desain bodi memiliki nilai hambatan paling rendah (Aprillia et al., 2023). Berikut Bentuk desain mobil dari Aprilia dkk pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3** (a). Desain konsep urban 1 dan (b). Desain konsep urban 2 (Aprillia et al., 2023)

(Muslim, dkk 2024) Melakukan penelitian tentang peletakan *vortex generator* jenis *Shark Fin* (SF) pada mobil mitsubishi Xphander dengan variasi posisi yang berbeda beda yakni pada posisi depan, tengah, belakang dan depan belakang dengan berbagai kecepatan aliran udara. Untuk mengetahui tempat paling aerodinamis menggunakan simulasi CFD, setelah di analisis posisi paling baik untuk penempatan *Shark Fin* (SF) terletak pada posisi depan dengan rata-rata  $C_d = 0.520$  dan nilai rata-rata  $C_l = -3.8505$ , nilai *Coefficient of Lift* yang minus (-) disini menunjukkan bahwa aliran angin menekan kendaraan ke bawah (Muslim et al., 2024). Posisi *vortex generator* yang terletak pada bagian depan seperti pada **Gambar 2.4** dan bentuk umum dari *Shark Fin* (SF) bisa dilihat pada **Gambar 2.5**



**Gambar 2.4** *Vortex generator* penempatan posisi depan(Muslim et al., 2024)



**Gambar 2.5** Car Shark Fin (SF) antenna honda CRV Accord Civic Odyssey Fit (Grandando.com, 2020)

Dari Penelitian (Hucho & Sovran, 1993) disimpulkan bahwa dunia otomotif membutuhkan proses yang dalam mengembangkan kendaraan yang memiliki nilai hambatan yang rendah dengan segala keunikan permintaan pasar sangat membutuhkan waktu yang tidak sedikit untuk mengkolaborasikan kedua nya antara keaerodinamisan dan keinginan pasar. Kemudian penelitian yang dilakukan (Aprilia, dkk 2024) dengan membandingkan dua mobil dengan konsep yang sama namun beda dari desain memiliki nilai aerodinamis yang sangat berbeda, dimana desain 2 memiliki nilai hambatan paling rendah yak ni dengan *Coefficient of Drag* 0,28 dan *coefficient side* 0,82 dengan kecepatan aliran udara 13,9 m/s. Penelitian yang di lakukan oleh (Muslim, dkk 2024) dengan meletakkan vortex pada empat tempat yang berbeda dan hasil nya penempatan pada bagian depan yang memiliki nilai rata  $C_d = 0.520$  dan  $C_l = -3.8505$  dengan kecepatan 40 hingga 100 km/jam.

Berdasarkan Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2013 mengenai Program Dekade Aksi Keselamatan Jalan, hal ini termasuk dalam Pilar Kedua yang berfokus pada penyediaan infrastruktur jalan yang mendukung keselamatan.

Penetapan batas kecepatan bertujuan untuk mengurangi risiko kecelakaan serta dampak fatalnya, sekaligus menjaga kelancaran arus lalu lintas. Batas kecepatan ini diberlakukan secara nasional dan ditandai melalui rambu lalu lintas, dengan ketentuan: minimum 60 km/jam pada kondisi arus lalu lintas bebas, maksimum 100 km/jam di jalan bebas hambatan, maksimum 80 km/jam di jalan antar kota, maksimum 50 km/jam di area perkotaan, dan maksimum 30 km/jam di kawasan permukiman.[6](Biro Komunikasi, 2015).

## 2.2. Aerodinamika

Aerodinamika berasal dari bahasa Yunani yakni aer yang artinya udara dan dinamis yang artinya kekuatan, dengan kata lain aerodinamika adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari pergerakan udara yang melintasi bodi mobil (sesuatu benda yang berinteraksi dengan gaya angin yang bergerak) (Suryady & Zhafran, 2022).

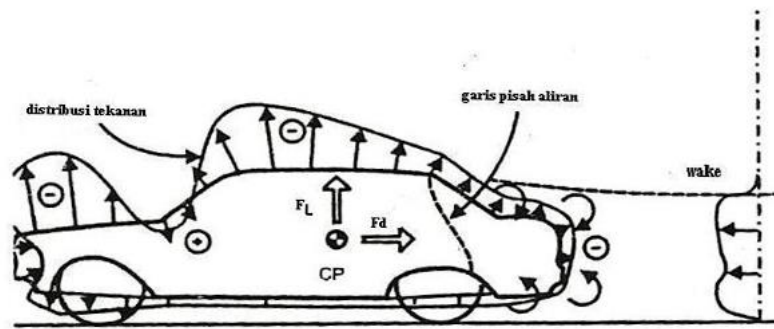
Aerodinamika mengacu pada bentuk khusus nya keterampilan dalam desain kendaraan nya, namun secara umum pembebanan terdiri dari gaya hambat yang membatasi kecepatan kendaraan dan gaya angkat yang mengangkat kendaraan. Model bodi kendaraan yang berdampak pada penghematan bahan bakar , semakin aerodinamis sebuah kendaraan maka semakin meringankan kinerja mesin sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar (Dinul et al., 2025)

Gaya aerodinamis adalah gaya-gaya yang diterima oleh satu bodi akibat aliran fluida yang mengalir. Akibatnya gaya-gaya tersebut membentuk resultan gaya yang disebut gaya aerodinamika. Untuk resultan yang searah dengan aliran disebut gaya hambat, sedangkan gaya yang tegak lurus aliran adalah gaya angkat. (Hasugian, 2018)

### 2.2.1 Gaya Hambat (*Drag Force*)

*Drag Force* gaya yang mengarah ke belakang , mendorong mundur dan disebabkan oleh gangguan aliran udara pada bodi kendaraan dan parallel dengan arah angin. Definisi lainnya *Drag Force* merupakan studi yang mempelajari aerodinamis aliran udara yang ada di sekitar melalui kendaraan , khusus nya jika kendaraan tersebut pada posisi bergerak, dengan kata lain *Drag Force* semua gaya eksternal dalam aliran fluida yang melawan gaya arah objek dan disebabkan oleh aliran udara turbulen di sekitar yang melawan gerak maju objek melalui gas atau cairan (Su et al., 2013). Bentuk arah hambatan bisa dilihat pada **Gambar 2.6**





**Gambar 2.6** Hambatan Bentuk pada kendaraan (Hasugian, 2018)

Secara umum perumusan untuk menghitung *Drag Force* dituliskan dalam persamaan

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \quad (2.1)$$

Dimana :

$F_D$  = Drag force (N)

$C_D$  = Coefficient of drag

$V$  = Kecepatan relatif angin kendaraan (m/s)

$\rho$  = Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang area (m<sup>2</sup>)

*Coefficient of Drag* ( $C_D$ ) adalah koefisien dari gaya hambatan yang menunjukkan kemampuan suatu benda dalam mengatasi hambatan dari fluida. Semakin rendah nilai Koefisien hambatnya, maka semakin efisien benda tersebut dalam menghadapi hambatan aliran fluida. Maka  $C_D$  dapat diketahui persamaannya seperti dibawah ini pada persamaan 2.2 .Secara umum persamaan *Coefficient of Drag* dapat dilihat dibawah ini yaitu :

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho \cdot V^2 \cdot A} \quad 2.2$$

Dimana :

$C_D$  = Coefficient drag

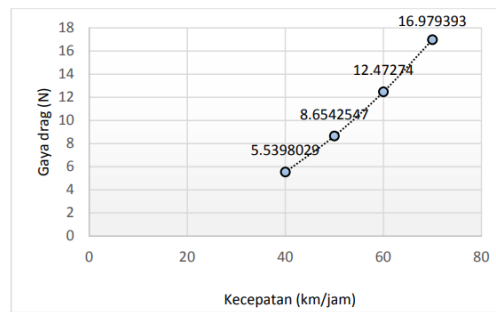
$F_D$  = Drag force

$V$  = Kecepatan relative angin kendaraan (m/s)

$\rho$  = Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang area (m<sup>2</sup>)

Hubungan antara *Coefficient of Drag* dengan kecepatan bisa dilihat pada **Gambar 2.7** dibawah ini.



**Gambar 2.7** Hubungan kecepatan kendaraan dengan *Coefficient of Drag* (Jhon, J.S & Utomo, 2017)

Dari persamaan 2.2 dan **Gambar 2.7** bisa disimpulkan bahwa ketika kendaran dalam keadaan melaju semakin kencang maka semakin besar juga hambatan yang ia terima. Besarnya gaya hambat memiliki pengaruh signifikan terhadap konsumsi bahan bakar, karena semakin kecil hambatan, semakin sedikit tenaga yang dibutuhkan mesin untuk menjalankan kendaraan dan berakselerasi dengan aman. Dengan demikian, semakin kecil hambatan yang berlawanan arah dengan pergerakan kendaraan, maka performa mesin akan menjadi lebih maksimal.

### 2.2.2 Gaya Angkat (*Lift Force*)

Perbedaan bentuk antara permukaan atas dan permukaan bawah kendaraan yang mengakibatkan aliran udara yang masuk pada permukaan atas lebih cepat dibandingkan aliran udara yang masuk pada permukaan bawah, hal ini yang menyebabkan *pressure* pada permukaan atas kendaraan lebih rendah daripada *pressure* permukaan bawah. Gaya ini bekerja secara vertikal dan biasanya arah keatas ditandai sebagai arah positif dan arah ke bawah ditandai sebagai arah negatif. Secara umum persamaan gaya angkat dapat dirumuskan dalam persamaan 2.3.

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \quad (2.3)$$

Dimana :

$F_L$  = *Lift force* (N)

$C_L$  = *Coefficient of lift*

$V$  = Kecepatan relatif angin kendaraan (m/s)

$\rho$  = Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang area (m<sup>2</sup>)

Untuk menentukan nilai *Coefficient of Lift* ( $C_L$ ) dapat menggunakan persamaan 2.4

$$C_L = \frac{2F_L}{\rho \cdot V^2 \cdot A} \quad 2.4$$

Dimana :

$C_L$  = *Coefficient of lift*

$F_L$  = *Lift force* (N)

$V$  = Kecepatan relatif angin kendaraan (m/s)

$\rho$  = Massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang area (m<sup>2</sup>)

Faktor lain adalah kekasaran bagian permukaan bawah kendaraan yang disebabkan oleh profil mesin dan komponen lain yang memperlambat aliran di bawah sehingga memperbesar tekanan aliran permukaan bawah. Karena itu tekanan yang bekerja pada bagian bawah kendaraan secara umum lebih besar dari tekanan yang bekerja pada bagian atas kendaraan sehingga menimbulkan terbentuknya gaya angkat karena adanya desakan aliran udara dari permukaan bawah ke permukaan atas kendaraan.

### 2.3. *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Dengan menggunakan salah satu *software* CFD dapat dibuat virtual prototype dari sebuah sistem atau alat yang ingin dianalisis dengan menerapkan kondisi nya di lapangan. Sesuai dengan namanya *Computational fluid dynamic* (CFD) perangkat ini bisa menganalisa sistem dengan melibatkan aliran fluida , perpindahan panas, momentum, perpindahan energi, dan fenomena aliran lain yang kemudian di simulasikan berbasis komputer. Pemodelan menggunakan CFD mampu menghasilkan berbagai parameter penting seperti tekanan, suhu, kecepatan, dan laju aliran massa. Pemahaman dasar mengenai mekanika fluida sangat diperlukan dalam analisis CFD untuk dapat menafsirkan hasil-hasil simulasi secara tepat. Dalam pengembangannya CFD memiliki investasi yang cukup besar tetapi tidak sebesar dibandingkan harga sejumlah fasilitas yang digunakan untuk pengujian secara eksperimen seperti *wind tunnel*. Selain itu CFD memiliki kekurangan seperti masih terdapat error dalam proses analisis nya.



Dalam melakukan proses simulasi CFD ini, terdapat tiga prosedur yang harus dilaksanakan, seperti yang tertera pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2.1** Tiga Tahapan CFD

<p><b><i>Pre-processing</i></b> Pendefinisian masalah</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Desain geometri</li> <li>2. <i>Generate meshing</i></li> <li>3. Pengaturan properti fluida</li> <li>4. Menentukan kondisi batas(<i>enclousure</i>)</li> </ol>
<p><b><i>Processing</i></b> Penyelesaian Persamaan Numerik</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengaturan skema diskritasi</li> <li>2. Pengaturan algoritma penyelesaian</li> <li>3. Kriteria konvergensi</li> </ol>
<p><b><i>Post-processing</i></b> Visualisasi hasil</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analisa data</li> <li>2. Visualisasi hasil</li> </ol>

### 1. *Pre-processing*

Pada tahap ini masukkan semua data yang terkait pada pendefinisian domain serta kondisi batas (*boundary condition*). Kemudian lakukan Proses pembuatan geometri objek yang akan disimulasikan dilakukan menggunakan berbagai perangkat lunak CAD, seperti *Autodesk Inventor*, *SolidWorks*, dan *Autodesk Fusion 360*. Setelah geometri selesai dibuat, langkah berikutnya adalah proses *meshing*, yaitu membagi geometri menjadi *volume* kontrol yang lebih kecil. Semakin detail mesh yang dihasilkan, maka kualitas simulasi akan semakin baik. Namun, mesh yang lebih halus juga memerlukan waktu pemrosesan yang lebih lama dan beban komputasi yang lebih tinggi.

### 2. *Processing*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dari data sudah dimasukkan dengan persamaan yang terlibat secara iterasi. Hal ini dilakukan hingga diperoleh nilai error terkecil dan setelah didapatkan hasil yang konvergen. Selanjutnya yang perlu dikondisikan adalah bentuk aliran fluida nya , jenis material yang dipakai dan kondisi awal pada proses *inlet* dan *outlet* dari fluida. Setelah seluruh

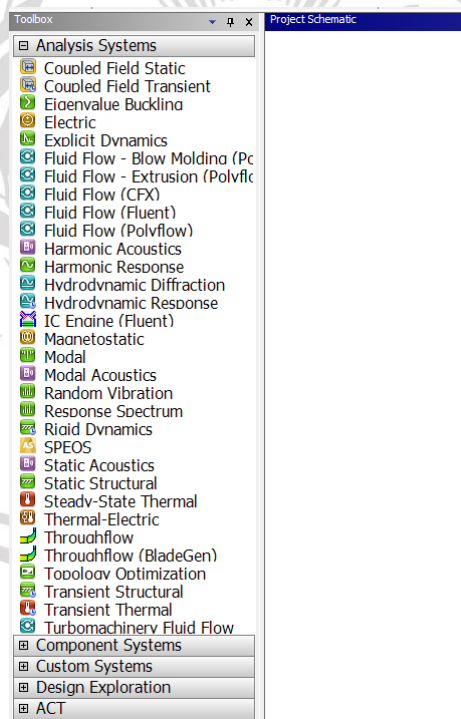
kondisi disesuaikan dengan keadaan sebenarnya, proses perhitungan dilakukan dengan menjalankan simulasi. Penting untuk menganalisis data yang digunakan selama simulasi agar hasil yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi nyata secara akurat.

### 3. *Postprocessing*

Tahap akhir dari proses ini adalah menampilkan hasil perhitungan simulasi yang kemudian diinterpretasikan dalam bentuk visual, seperti gambar, grafik, atau animasi, menggunakan gradasi warna tertentu.

#### 2.4. *Ansys workbench 2020*

*Software Ansys* adalah program yang mempunyai manfaat dan fungsi untuk dapat digunakan menganalisa fluida, perpindahan panas, berbagai macam struktur, dan juga lainnya. *ANSYS* telah memiliki lisensi resmi sehingga dapat dimanfaatkan oleh para engineer untuk menyelesaikan berbagai permasalahan melalui simulasi. Berikut fitur yang disediakan *Ansys workbench 2020* seperti pada **Gambar 2.8**.



**Gambar 2.8** Fitur pada *Ansys workbench 2020*

### 2.4.1 *Fluent*

*Software Fluent* CFD yang disediakan oleh *Fluent Inc.* adalah *software* komputer berbasis teknologi canggih untuk melakukan modeling dan simulasi aliran fluida dan transfer panas pada suatu geometri dari yang sederhana hingga yang kompleks. *Fluent* mendukung berbagai jenis mesh, termasuk mesh 2D (*two dimension*) *triangular quadrilaterall*, 3D (*three-dimension*) *tetrahedral-hexahedral pyramid* dan *mesh automatic*. Perangkat lunak CFD yang digunakan adalah *Ansys Workbench 2020* dengan *Fluent* sebagai media simulasinya. *Ansys Fluent* memiliki beragam kapabilitas dalam menyelesaikan analisis simulasi secara efektif.. Kemampuan pada *ansys Fluent* dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2.2** *Some of the capabilities for Ansys Fluent*

NO	<i>Fluent Capabilities</i>
1.	<i>2D Planar flows, Axisymmetric flows, Axisymmetric flows with swirl, 3D Flows</i>
2.	<i>Acoustics</i>
3.	<i>Cavitation flows</i>
4.	<i>Chemical species mixing and reaction</i>
5.	<i>Compressible flows, Incompressible flows</i>
6.	<i>Forced heat transfer, Mixed convection heat transfer, Natural heat transfer</i>
7.	<i>Free surface flows</i>
8.	<i>Ideal gases, Real gases</i>
9.	<i>Inviscid flows, Laminar flows, Turbulent flows</i>
10.	<i>Lumped Parameter Models</i>
11.	<i>Melting and Solidification</i>
12.	<i>Multiphase flows</i>
13.	<i>Newtonian flows, Non-Newtonian flows</i>
14.	<i>Porous media</i>
15.	<i>Steady flows, Time-dependent flows</i>
16.	<i>2D Planar flows, Axisymmetric flows, Axisymmetric flows with swirl, 3D flow</i>