

SIMULASI NUMERIK PENGARUH SUDUT SERANG DEFLEKTOR SAMPING TERHADAP KARAKTERISTIK AERODINAMIKA TRUK

Vega Radindhi Ardhana

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: vegaradindhi.21013@mhs.unesa.ac.id

Dr. A. Grummy Wailanduw, M.Pd., M.T.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: grummywailanduw@unesa.ac.id

Abstrak

Kendaraan niaga seperti truk memiliki peran penting dalam sistem distribusi logistik modern, namun bentuk geometrinya yang kurang aerodinamis menyebabkan resistansi udara tinggi yang berkontribusi terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang, terutama pada kecepatan menengah hingga tinggi. Salah satu upaya peningkatan efisiensi aerodinamika kendaraan adalah dengan penambahan deflektor samping pada kabin untuk mengarahkan aliran udara di sepanjang bodi kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemasangan deflektor samping terhadap karakteristik aliran udara di sekitar model truk roda enam (*medium-duty*) serta menentukan konfigurasi sudut yang paling optimal. Analisis dilakukan menggunakan simulasi numerik tiga dimensi secara *unsteady* dengan perangkat lunak ANSYS Fluent pada tiga variasi bilangan Reynolds, yaitu $6,61 \times 10^6$, $1,06 \times 10^7$, dan $1,32 \times 10^7$. Parameter yang dianalisis meliputi visualisasi aliran berupa kontur kecepatan dan *streamline*, serta karakteristik aerodinamika berupa koefisien *drag* (C_D) dan koefisien *lift* (C_L). Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan deflektor samping dengan sudut 10° menghasilkan pola aliran yang paling stabil dan terarah, ditandai dengan *streamline* yang lebih rapat serta distribusi kecepatan yang lebih seragam di sepanjang sisi kendaraan. Konfigurasi ini juga menghasilkan nilai koefisien *drag* terendah sebesar 0,646 pada seluruh variasi bilangan Reynolds serta koefisien *lift* negatif sebesar $-0,0585$ yang menunjukkan kecenderungan gaya tekan ke bawah. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sudut deflektor 10° merupakan konfigurasi paling optimal dalam meningkatkan karakteristik aerodinamika pada model truk *medium-duty*.

Kata Kunci: Simulasi Numerik, Deflektor Samping, Karakteristik Aerodinamika, Truk Roda Enam

Abstract

Commercial vehicles such as trucks play an important role in modern logistics distribution systems. However, their less aerodynamic geometric shape causes high air resistance, which contributes to increased fuel consumption and exhaust emissions, especially at medium to high speeds. One approach to improving vehicle aerodynamic efficiency is the installation of side deflectors on the cab to guide the airflow along the vehicle body. This study aims to analyze the effect of installing a side deflector on the airflow characteristics around a six-wheeled (*medium-duty*) truck model and to determine the most optimal deflector angle configuration. The analysis was conducted using three-dimensional unsteady numerical simulations with ANSYS Fluent at three Reynolds number variations, namely 6.61×10^6 , 1.06×10^7 , and 1.32×10^7 . The analyzed parameters include flow visualization in the form of velocity contours and streamlines, as well as aerodynamic characteristics represented by the drag coefficient (C_D) and lift coefficient (C_L). The simulation results show that the installation of a side deflector with a 10° angle produces the most stable and directed flow pattern, characterized by denser streamlines and a more uniform velocity distribution along the vehicle side. This configuration also produces the lowest drag coefficient of 0.646 across all Reynolds number variations and a negative lift coefficient of -0.0585 , indicating a downward force tendency. These results indicate that a 10° deflector angle is the most optimal configuration for improving the aerodynamic characteristics of a medium-duty truck model.

Keywords: Numerical Simulation, Side Deflector, Aerodynamic Characteristics, Six-Wheeled Truck

PENDAHULUAN

Dalam konteks transportasi global yang terus berkembang, efisiensi dan keberlanjutan menjadi pilar utama dalam perancangan kendaraan berat seperti truk. Peningkatan kebutuhan pengurangan emisi karbon serta volatilitas harga bahan bakar mendorong inovasi pada sistem propulsi dan desain struktural kendaraan (Sperling & Gordon, 2009). Optimalisasi aerodinamika menjadi salah satu pendekatan paling strategis untuk meningkatkan efisiensi operasional sekaligus menjaga profitabilitas sektor logistik (Skrucany et al., 2019).

Efisiensi aerodinamika berperan langsung dalam menekan konsumsi bahan bakar, terutama pada kecepatan tinggi ketika gaya *drag* menjadi komponen hambatan dominan. Truk yang melaju pada 100 km/jam dapat menghabiskan hingga 50% bahan bakarnya hanya untuk melawan hambatan udara (Damissie & Babu, 2017). Bahkan, reduksi gaya hambat sebesar 2% dapat menurunkan konsumsi bahan bakar sekitar 1% (Yoon et al., 2010). Selain itu, nilai koefisien lift yang rendah turut meningkatkan stabilitas dan keselamatan kendaraan saat menghadapi gangguan angin samping (Maine et al., 2023).

Berbagai perangkat aerodinamis seperti *cab roof fairing*, *boat tail*, *side skirt*, dan *gap fairing* telah dikembangkan untuk menurunkan koefisien hambatan truk (Gao et al., 2022). Implementasi teknologi *fairing* di beberapa negara menunjukkan hasil signifikan, dengan pengurangan hambatan mencapai 15-19% melalui desain yang disempurnakan (Lee & Park, 2023).

Karakteristik aliran udara di sekitar truk bersifat tiga dimensi dan kompleks. Interaksi udara dengan permukaan kendaraan membentuk lapisan batas turbulen yang tidak stabil dan berpotensi menimbulkan *flow separation* serta pembentukan *wake region* di belakang kendaraan (Yunqing et al., 2017). Fenomena ini menjadi penyebab utama tingginya gaya hambatan aerodinamika pada kendaraan berat.

Bagian sisi dan *underbody* kendaraan menyumbang sekitar 15-30% dari total hambatan aerodinamika (Stephens & Babinsky, 2016). Oleh karena itu, deflektor samping kabin memiliki peran penting dalam mengarahkan aliran lateral, menunda pemisahan aliran, serta mengurangi intensitas turbulensi di sisi kendaraan (Selenbas et al., 2010).

Berbagai studi menunjukkan efektivitas perangkat tambahan aerodinamis. Penggunaan top *deflector* terbukti menurunkan gaya dan koefisien hambatan secara signifikan melalui simulasi CFD menggunakan ANSYS Fluent (Kepekçi, 2023). Kombinasi perangkat aerodinamis bahkan mampu menurunkan koefisien hambatan hingga 41% dibandingkan model dasar (Khosravi et al., 2015).

Meskipun demikian, studi aerodinamika truk memiliki kompleksitas tinggi dan sering menghadapi keterbatasan eksperimen akibat biaya dan ketidakpastian lingkungan (Ait Moussa et al., 2015). Oleh karena itu, pendekatan simulasi numerik CFD menjadi solusi efisien untuk mengevaluasi variasi desain secara sistematis dan terkontrol.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh variasi sudut serang *side deflector* kabin (0° , 10° , 20° , dan 30°) terhadap pola aliran udara, koefisien *drag* (C_D), dan koefisien *lift* (C_L) pada model truk enam roda generik dalam kondisi 3D *unsteady* dengan variasi bilangan Reynolds $6,61 \times 10^6$, $1,06 \times 10^7$, dan $1,32 \times 10^7$. Penelitian ini bertujuan menentukan konfigurasi sudut paling efektif dalam meminimalkan hambatan aerodinamika serta meningkatkan kestabilan kendaraan, sekaligus memberikan manfaat akademik dan praktis bagi pengembangan desain kendaraan komersial yang lebih efisien dan berkelanjutan.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan studi berbasis simulasi numerik tak tunak (*unsteady*) yang bertujuan untuk menganalisis karakteristik aliran fluida.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Aerodinamika dan Otomotif, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, meliputi proses perancangan model, simulasi numerik menggunakan ANSYS, serta analisis data hasil

simulasi. Pengujian dan pengambilan data dilakukan pada 28 Agustus 2025-26 Januari 2026.

Objek Penelitian

Objek yang digunakan saat penelitian adalah kendaraan truk roda 6, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Jenis	: Truk Roda Enam
Panjang (p)	: 7650mm
Lebar (l)	: 2490mm
Tinggi (t)	: 3200mm

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

1. Tanpa deflektor
2. Sudut variasi 0° ,
3. Sudut variasi 10° ,
4. Sudut variasi 20° ,
5. Sudut variasi 30° .

Variabel Terikat

1. Koefisien hambatan (C_D)
2. Koefisien angkat (C_L)
3. *Velocity streamline*
4. *Velocity contour*

Variabel Kontrol

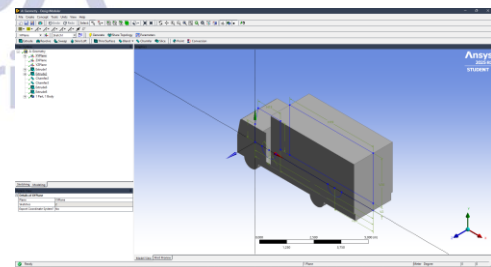
1. Geometri truk (model 6 roda yang disederhanakan serta aksesoris seperti lampu, spion, dan tekstur permukaan tidak diperhitungkan dalam simulasi)
2. $Re = 6,61 \times 10^6$, $1,06 \times 10^7$, dan $1,32 \times 10^7$
3. Temperatur udara = 30°C

Teknik Pengumpulan Data

Tahap Pre-Processing

1. Pembuatan Geometri

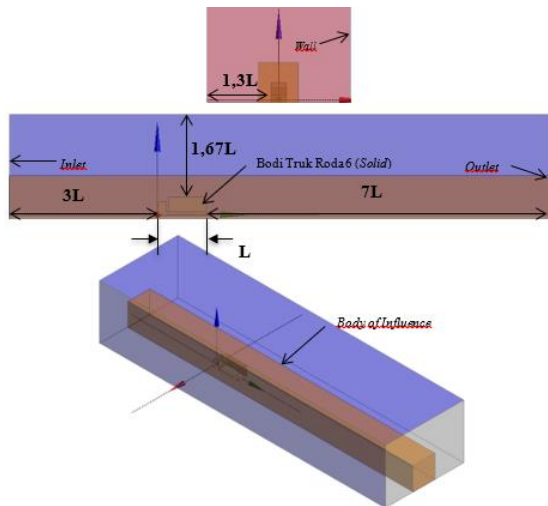
Model truk roda enam dibuat dalam bentuk 3D menggunakan ANSYS DesignModeler, termasuk variasi deflektor samping dengan sudut 0° , 10° , 20° , dan 30° .



Gambar 1. Pembuatan Geometri

2. Pembuatan Domain

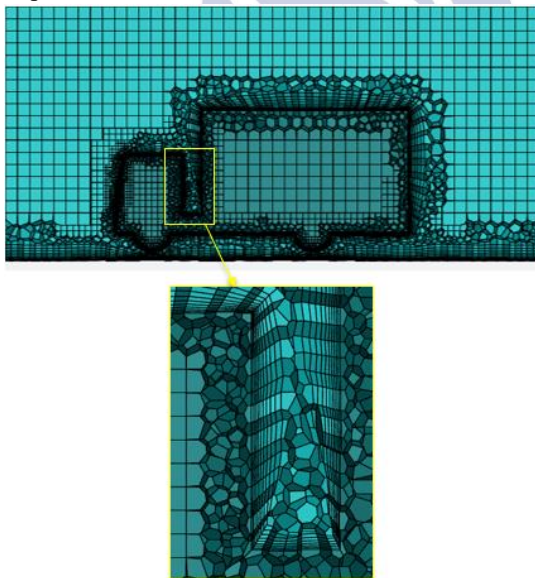
Domain aliran eksternal dibuat untuk merepresentasikan interaksi udara dengan model *bluff body*. Dimensi domain mengacu pada Gao et al. (2022), dengan *inlet* sejauh 3L di depan dan *outlet* 7L di belakang model. Kondisi batas yang digunakan meliputi *wall*, *body*, *velocity inlet*, *outlet*, dan *symmetry*.



Gambar 2. Pembuatan Domain

3. Pembuatan Mesh

Meshing dilakukan menggunakan ANSYS Fluent (Fluent Meshing) dengan metode *poly-hexcore*. Digunakan 10 lapisan *boundary layer* (*growth rate* 1,2) untuk meningkatkan akurasi prediksi distribusi tekanan dan gaya hambat, sekaligus menjaga efisiensi komputasi.



Gambar 3. Pembuatan Mesh

4. Penentuan Solver

Solver yang digunakan adalah *pressure-based, transient (3D unsteady)*. *Inlet* berupa *velocity inlet* (13,89 m/s; 22,22 m/s; 27,78 m/s), *outlet* *outflow*, dan dinding *no-slip*. Skema numerik menggunakan *second order* untuk meningkatkan akurasi hasil simulasi.

Tahap Processing

Seluruh parameter dijalankan hingga mencapai konvergensi. Jika belum konvergen, dilakukan evaluasi dan perbaikan mesh sebelum simulasi dilanjutkan.

Tahap Post-Processing

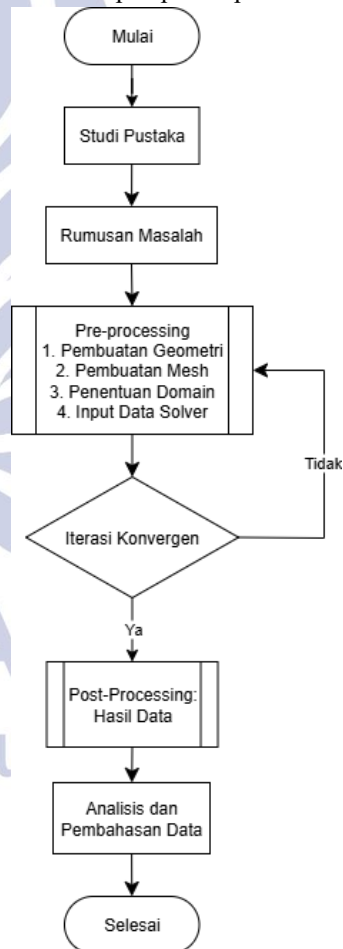
Hasil simulasi dianalisis dalam bentuk data kuantitatif (C_D dan C_L) serta kualitatif (kontur kecepatan, streamline, dan kontur tekanan) untuk mengevaluasi performa aerodinamika model truk.

Metode Analisis Data

Metode analisis data dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi sudut *side deflector* terhadap koefisien hambat (C_D) dan koefisien angkat (C_L) pada aliran 3D, yang disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Visualisasi kontur kecepatan dan tekanan menggunakan ANSYS Fluent digunakan untuk memahami pola aliran dan menilai efisiensi aerodinamika model truk.

Flowchart Penelitian

Berikut merupakan diagram alir (*flowchart*) yang menunjukkan urutan tahapan proses penelitian.



Gambar 4. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Data

Validasi Model Turbulensi

Validasi model turbulensi dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien *drag* (C_D) hasil simulasi terhadap data eksperimen Kepekçi (2023) pada Reynolds Number $6,4 \times 10^6$.

Tabel 1. Tabel Persentase *Error* Masing-masing Model Turbulensi dengan Data Eksperimen

No	Model	C_D	Error
1	Eksperimen (Kepekçi et al., 2023)	1,032	-
2	K-Epsilon Realizable	1,0317	0,03%
3	K-Epsilon RNG	1,0138	1,76%
4	K-Epsilon Standart	0,9931	3,77%
5	K-Omega Standart	0,9730	5,72%
6	K-Omega SST	1,0145	1,70%
7	Spalart Allmaras	0,9967	3,42%
8	RSM	0,9597	7,01%
9	Laminar	1,0176	1,40%

Berdasarkan perbandingan persentase *error*, model K-Epsilon Realizable menunjukkan *error* terkecil (0,03%) dan nilai C_D paling mendekati data eksperimen (1,032). Selain memiliki akurasi tinggi, model ini juga stabil dan efisien secara komputasi untuk geometri truk yang kompleks. Oleh karena itu, model K-Epsilon Realizable ditetapkan sebagai model turbulensi acuan dalam penelitian ini

Grid Independence Test

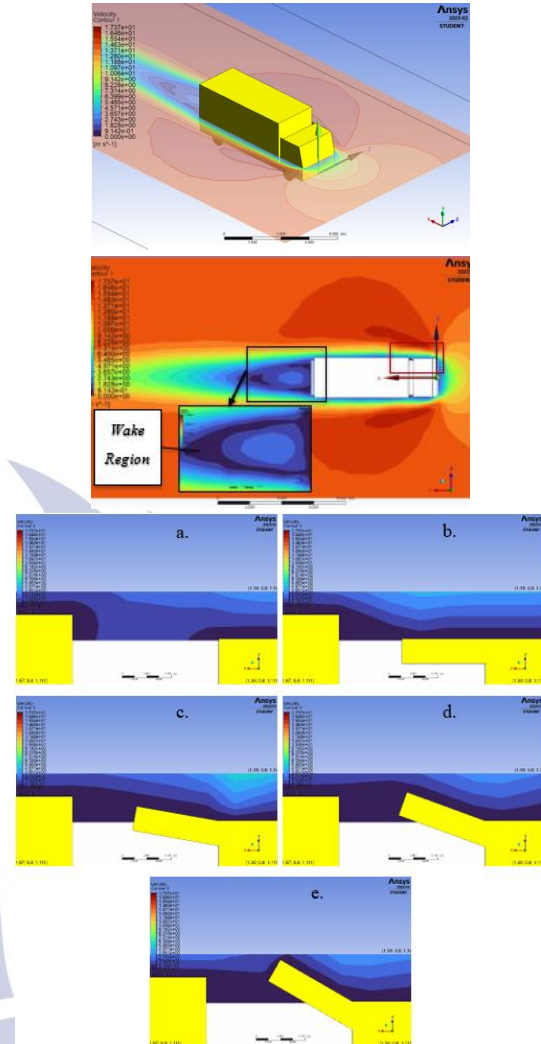
Uji *grid independence* dilakukan untuk menentukan ukuran *mesh* optimal dengan membandingkan nilai koefisien drag (C_D) hasil simulasi terhadap data eksperimen Kepekçi (2023) pada $Re\ 6,4 \times 10^6$.

Tabel 2. Hasil *Grid Independence Test*

No	Size	Mesh Nodes	Mesh Elements	C_D	Error
1	Eksperimen (Kepekçi et al., 2023)			1,032	-
2	0,21	95431	486160	0,974	5,95%
3	0,205	100691	514854	1,006	2,54%
4	0,2	106463	546933	1,032	0,03%
5	0,195	113065	582706	1,007	2,46%
6	0,19	119738	619705	0,964	7,03%

Hasil menunjukkan bahwa *mesh* dengan 106463 nodes dan 546933 elemen menghasilkan *error* terkecil (0,03%) dan nilai C_D paling mendekati eksperimen (1,032), sehingga menunjukkan konvergensi terbaik. Penambahan jumlah elemen setelah titik ini tidak meningkatkan akurasi secara signifikan dan justru menurunkan efisiensi komputasi (*over-refinement*). Oleh karena itu, konfigurasi tersebut dipilih sebagai *mesh* optimal karena memberikan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi.

Velocity Contour pada $Re\ 6,61 \times 10^6$

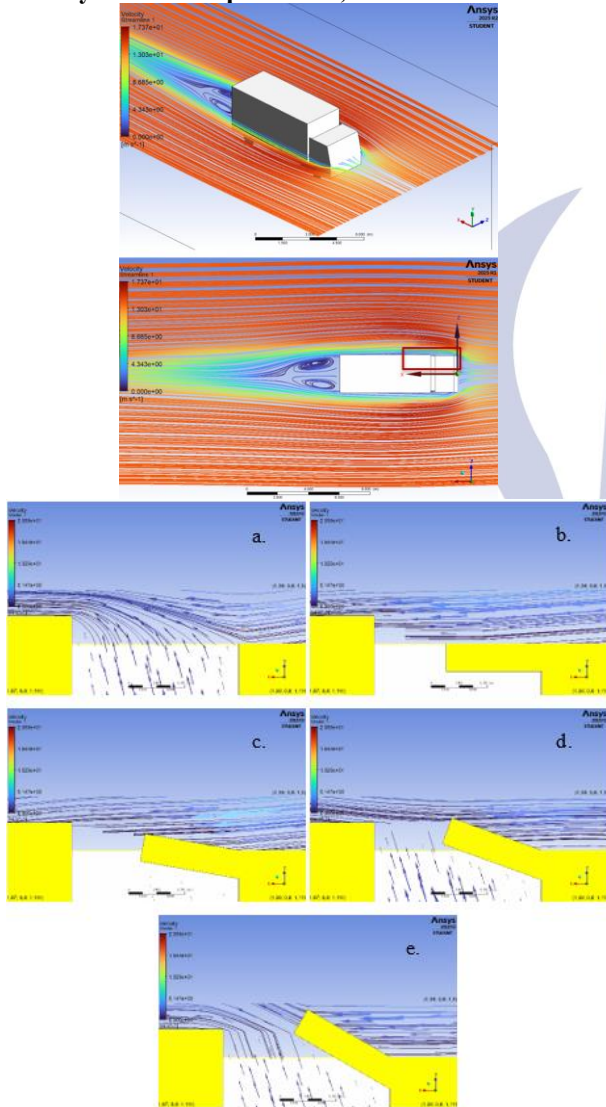
**Gambar 5.** Velocity Contour Kendaraan Truk pada $Re\ 6,61 \times 10^6$: (a) Tanpa Deflektor, (b) Sudut 0°, (c) Sudut 10°, (d) Sudut 20°, (e) Sudut 30°

Analisis *velocity contour* pada $Re = 6,61 \times 10^6$ menunjukkan bahwa variasi sudut *side deflector* memengaruhi distribusi kecepatan di area gap antara kabin dan box truk. Pada kondisi tanpa deflektor, area didominasi kecepatan menengah (0,9 m/s). Sudut 0° menampilkan distribusi warna yang relatif merata tanpa dominasi jelas. Pada sudut 10°, pola aliran lebih terarah mengikuti kontur bodi dengan dominasi kecepatan rendah (0 m/s). Sudut 20° menunjukkan dominasi paling kuat pada kecepatan sangat rendah (0 m/s), mengindikasikan perlambatan aliran yang signifikan. Sementara itu, sudut 30° didominasi kecepatan rendah saat melewati deflektor, kemudian berubah menjadi kecepatan menengah setelah melewati area tersebut.

Distribusi *velocity contour* menunjukkan bahwa sudut *side deflector* memengaruhi pembentukan *boundary layer* dan zona tanpa kecepatan di area gap kabin-box. Sudut 10° menampilkan perlambatan aliran yang bertahap dan terkontrol sejajar kontur bodi, sehingga aliran utama tetap stabil dan berpotensi menghasilkan hambatan lebih rendah. Sebaliknya, sudut 20° membentuk zona tanpa kecepatan yang lebih tebal akibat akumulasi aliran lambat,

yang berpotensi meningkatkan hambatan. Variasi tanpa deflektor dan sudut 0° menunjukkan pengendalian aliran yang masih terbatas, sedangkan sudut 30° memberikan perbaikan sebagian namun belum seoptimal 10° . Dengan demikian, sudut 10° menjadi konfigurasi paling menguntungkan, sementara 20° paling tidak menguntungkan.

Velocity Streamline pada $Re\ 6,61 \times 10^6$



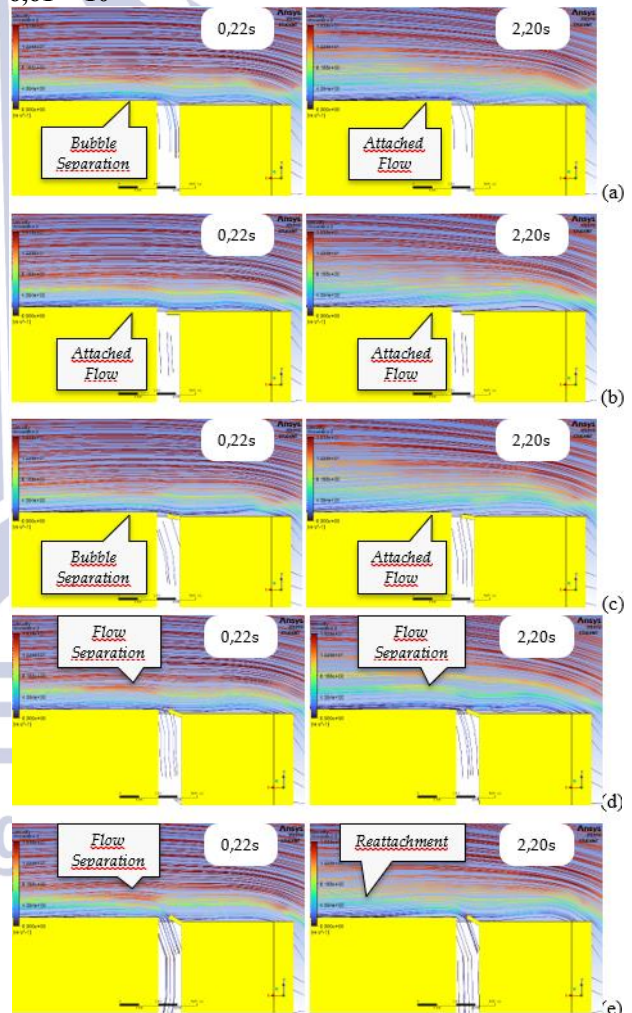
Gambar 6. Velocity Streamline Kendaraan Truk pada $Re\ 6,61 \times 10^6$: (a) Tanpa Deflektor, (b) Sudut 0° , (c) Sudut 10° , (d) Sudut 20° , (e) Sudut 30°

Analisis *velocity streamline* pada $Re\ 6,61 \times 10^6$ menunjukkan bahwa variasi sudut *side deflector* memengaruhi arah dan kestabilan aliran di area gap kabin-box. Tanpa deflektor, aliran cenderung membelok dan menjauh dari bodi, menandakan keteraturan rendah. Sudut 0° mulai mengarahkan aliran lebih sejajar, namun belum sepenuhnya stabil. Konfigurasi 10° menghasilkan pola paling teratur, halus, dan sejajar tanpa indikasi *separation*, sehingga menunjukkan kestabilan terbaik. Sebaliknya, sudut 20° menimbulkan pembelokan berlebih dan indikasi

separation yang kuat, menjadikannya paling tidak stabil. Sudut 30° menunjukkan gangguan awal yang kemudian membaik di hilir, tetapi tetap kurang stabil dibandingkan 10° .

Hasil *velocity streamline* menunjukkan bahwa sudut *side deflector* sangat memengaruhi kemampuan aliran untuk tetap menempel pada bodi. Sudut 10° menghasilkan aliran paling sejajar dan stabil, sehingga mengurangi potensi stagnasi dan *wake* serta berpeluang menurunkan hambatan. Sebaliknya, sudut 20° menyebabkan pembelokan berlebih yang memicu *separation* dan pembentukan *wake* lebih luas, sehingga kurang menguntungkan secara aerodinamika. Variasi tanpa deflektor, 0° , dan 30° menunjukkan kondisi menengah, namun tetap belum sebaik konfigurasi 10° .

Velocity Streamline pada Kondisi Transient pada $Re\ 6,61 \times 10^6$

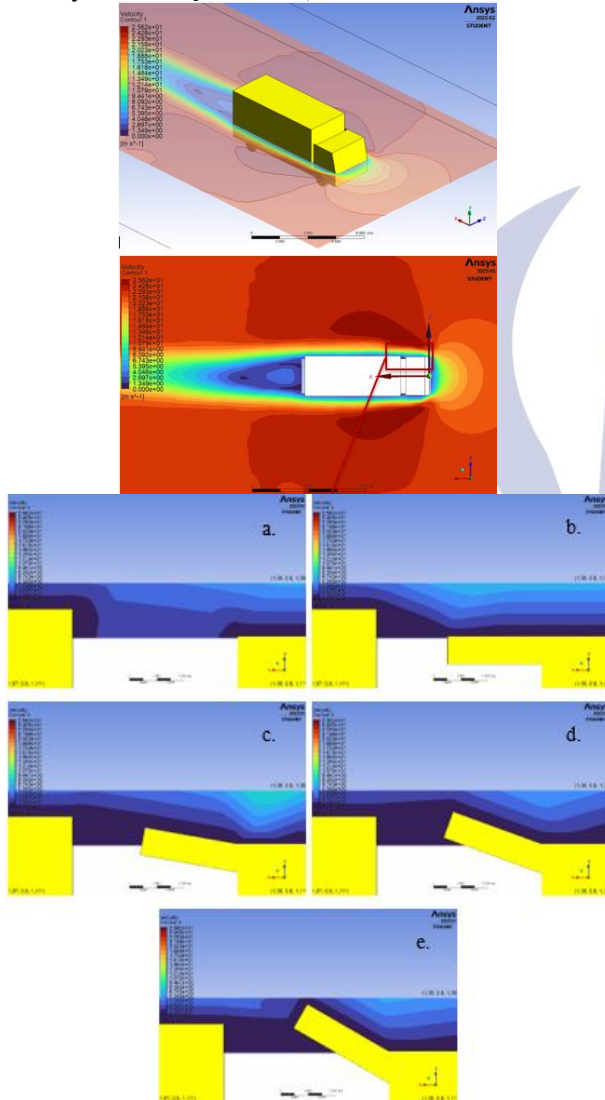


Gambar 7. Velocity Streamline pada Kondisi Transient pada $Re\ 6,61 \times 10^6$: (a) Tanpa Deflektor, (b) Sudut 0° , (c) Sudut 10° , (d) Sudut 20° , (e) Sudut 30°

Analisis transien pada 0,22 s dan 2,20 s menunjukkan bahwa sudut *side deflector* memengaruhi perkembangan *separation* dan kestabilan aliran. Pada 0,22 s, tanpa deflektor terjadi *bubble separation*, sudut 0° menunjukkan aliran paling stabil, sudut 10° mengalami separasi kecil, sudut 20° menunjukkan separasi jelas, dan sudut 30°

mengalami separasi sesaat yang diikuti *reattachment*. Pada 2,20 s, sudut 0° dan 10° mencapai kondisi *attached flow* yang stabil, sedangkan sudut 20° mengalami perluasan separasi tanpa *reattachment* yang meningkatkan potensi hambatan. Sudut 30° masih mengalami separasi, namun *reattachment* membantu menjaga performa lebih baik dibanding 20° . Secara keseluruhan, sudut 10° paling efektif dalam menstabilkan aliran dan meminimalkan potensi gaya hambat.

Velocity Contour pada $Re\ 1,063 \times 10^7$



Gambar 8. Velocity Contour Kendaraan Truk pada $Re\ 1,063 \times 10^7$: (a) Tanpa Deflektor, (b) Sudut 0° , (c) Sudut 10° , (d) Sudut 20° , (e) Sudut 30°

Analisis *velocity contour* pada $Re = 1,063 \times 10^7$ dilakukan untuk mengamati distribusi kecepatan aliran udara pada area gap antara kabin dan box truk akibat variasi sudut *side deflector*. Pengamatan dilakukan pada jendela koordinat yang sama dengan skala warna seragam, di mana biru tua menunjukkan kecepatan 0 m/s, biru 1,7 m/s, dan biru muda 4,2 m/s.

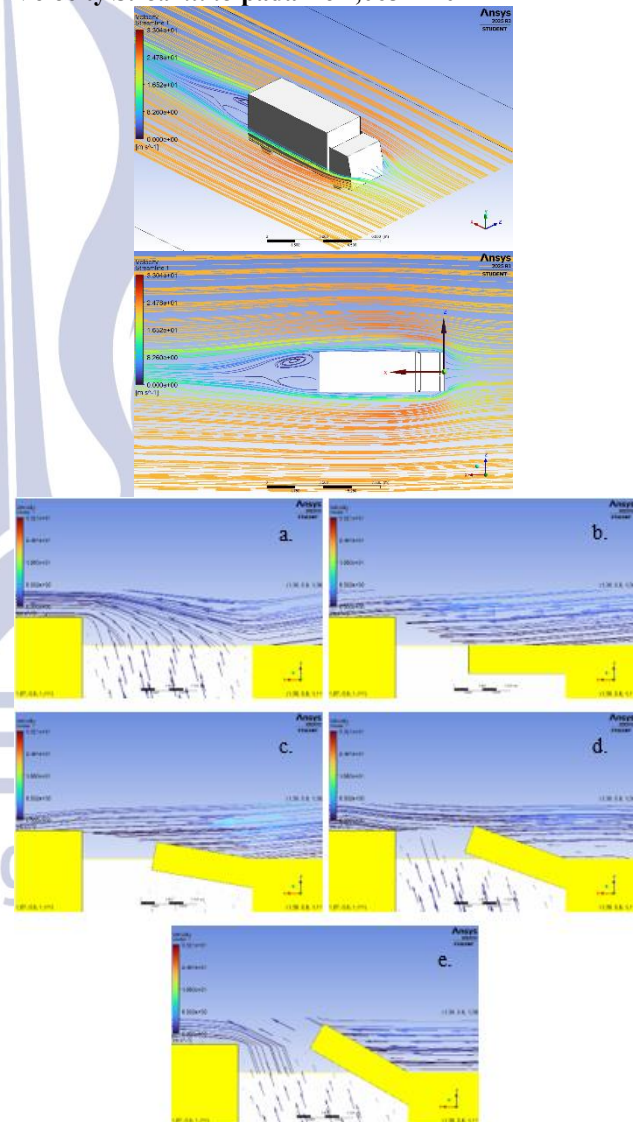
Pada kondisi tanpa deflektor, area gap didominasi warna biru (1,7 m/s) yang menunjukkan dominasi kecepatan menengah. Variasi deflektor 0° menampilkan distribusi warna yang lebih beragam tanpa dominasi yang

jelas. Pada sudut 10° , distribusi warna sejajar dengan kontur bodi dan didominasi biru tua, menunjukkan perlambatan aliran yang lebih teratur serta pembentukan *boundary layer* yang stabil.

Sebaliknya, sudut 20° memperlihatkan dominasi luas warna biru tua yang mengindikasikan terbentuknya *no-velocity zone* yang besar akibat kehilangan energi aliran, sehingga berpotensi meningkatkan hambatan aerodinamika. Pada sudut 30° , dominasi warna berubah dari biru tua menjadi biru setelah melewati deflektor, menunjukkan adanya pemulihan kecepatan sebagian.

Secara keseluruhan, sudut 10° menghasilkan distribusi aliran paling stabil dan terarah, sedangkan sudut 20° menunjukkan karakteristik aliran yang paling kurang menguntungkan di area gap antara kabin dan box truk.

Velocity Streamline pada $Re\ 1,063 \times 10^7$



Gambar 9. Velocity Streamline Kendaraan Truk pada $Re\ 1,063 \times 10^7$: (a) Tanpa Deflektor, (b) Sudut 0° , (c) Sudut 10° , (d) Sudut 20° , (e) Sudut 30°

Analisis *velocity streamline* pada $Re = 1,063 \times 10^7$ dilakukan untuk mengevaluasi arah dan keteraturan aliran udara di area gap antara kabin dan box truk akibat variasi

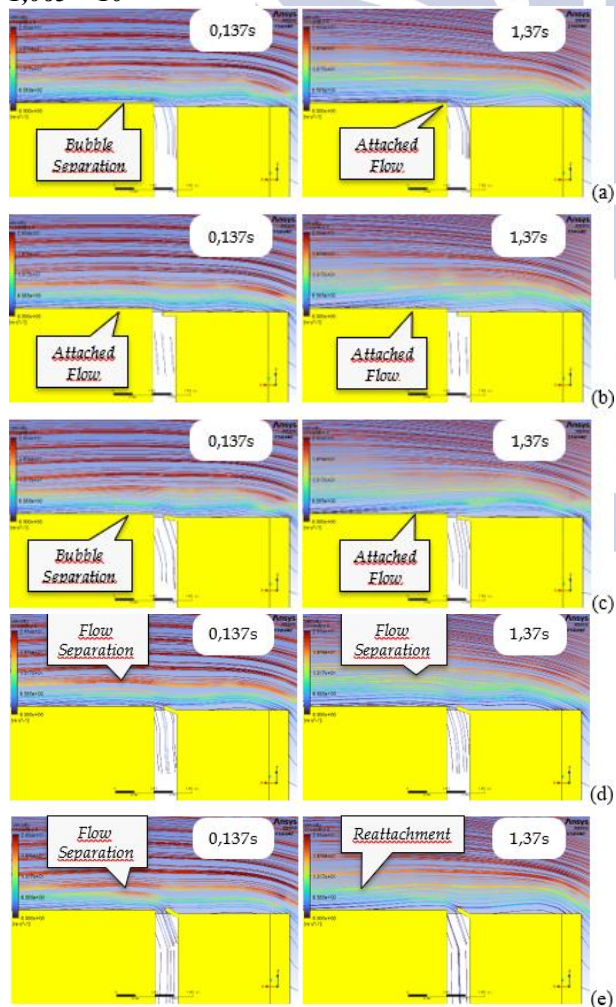
sudut *side deflector*. Seluruh variasi dianalisis pada jendela koordinat yang sama agar perbandingan pola aliran dapat dilakukan secara konsisten.

Pada kondisi tanpa deflektor, aliran setelah melewati bagian depan box tidak sejajar dengan kontur bodi dan cenderung menjauh dari permukaan, yang menunjukkan keteraturan aliran yang rendah. Variasi deflektor 0° mulai mengarahkan aliran agar lebih sejajar dengan bodi, namun masih terjadi pembelokan ringan setelah melewati deflektor.

Konfigurasi 10° menghasilkan pola *streamline* paling teratur, dengan aliran yang sejajar, halus, dan berkesinambungan tanpa indikasi *separation* yang jelas, sehingga menunjukkan kondisi aliran paling stabil. Sebaliknya, sudut 20° menimbulkan pembelokan aliran yang lebih kuat sehingga aliran menjauh dari bodi dan menunjukkan indikasi *separation*. Pada sudut 30°, aliran mengalami gangguan awal setelah melewati deflektor, namun sebagian kembali mendekati arah sejajar terhadap bodi di bagian hilir.

Secara keseluruhan, sudut 10° menghasilkan mekanisme aliran paling stabil dan terarah, sedangkan sudut 20° menunjukkan karakteristik aliran yang paling tidak menguntungkan di area gap antara kabin dan box truk.

Velocity Streamline pada Kondisi Transient pada $Re\ 1,063 \times 10^7$



Gambar 10. *Velocity Streamline* pada Kondisi *Transient* pada $Re\ 1,063 \times 10^7$: (a) Tanpa Deflektor, (b) Sudut 0°, (c) Sudut 10°, (d) Sudut 20°, (e) Sudut 30°

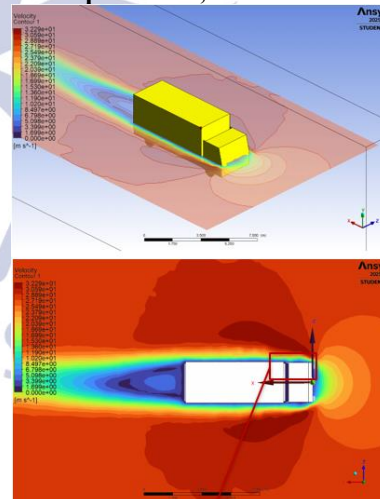
Analisis transien dilakukan pada 0,137 s dan 1,37 s untuk mengamati perkembangan struktur aliran udara di sekitar bodi truk akibat variasi sudut *side deflector*.

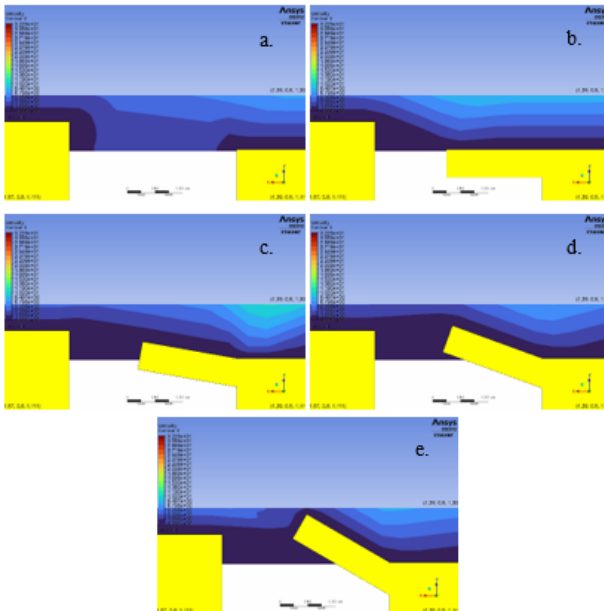
Pada 0,137 s, kondisi tanpa deflektor menunjukkan *bubble separation* akibat aliran yang menabrak dinding depan box sebelum kembali menempel. Variasi 0° menghasilkan aliran yang langsung mengikuti kontur bodi tanpa separasi. Pada 10° terlihat separasi kecil setelah melewati deflektor, sedangkan 20° menunjukkan separasi yang lebih jelas. Pada 30°, aliran mengalami separasi sesaat namun masih terdapat *reattachment* pada permukaan box.

Pada 1,37 s, karakteristik aliran menjadi lebih matang. Kondisi tanpa deflektor dan 0° menunjukkan aliran yang stabil dan menempel pada bodi. Variasi 10° mencapai kondisi *attached flow* yang sepenuhnya stabil sehingga gangguan aliran yang muncul sebelumnya menghilang. Sebaliknya, 20° mengalami perkembangan zona separasi yang luas tanpa *reattachment*, sedangkan 30° masih menunjukkan separasi namun aliran kembali menempel pada bodi di bagian hilir.

Secara keseluruhan, sudut rendah (0° dan 10°) mampu menstabilkan aliran, sedangkan sudut tinggi (20° dan 30°) cenderung memicu perluasan zona separasi. Berdasarkan konsistensi aliran pada kedua *time step*, sudut 10° merupakan konfigurasi paling optimal karena mampu mempertahankan *attached flow* dan meminimalkan potensi hambatan aerodinamika.

Velocity Contour pada $Re\ 1,32 \times 10^7$





Gambar 11. *Velocity Contour* Kendaraan Truk pada $Re\ 1,32 \times 10^7$: (a) Tanpa Deflektor, (b) Sudut 0° , (c) Sudut 10° , (d) Sudut 20° , (e) Sudut 30°

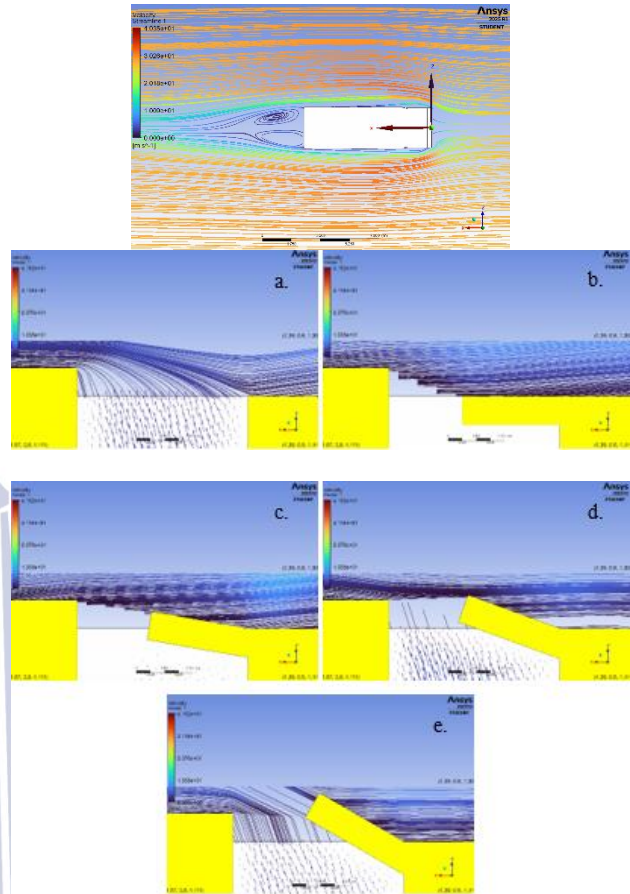
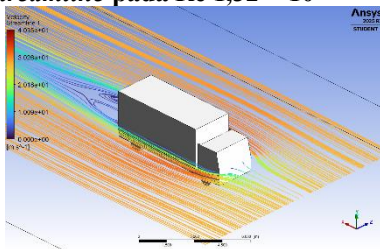
Analisis *velocity contour* pada $Re = 1,32 \times 10^7$ dilakukan untuk mengamati distribusi kecepatan aliran udara di area gap antara kabin dan box truk akibat variasi sudut *side deflector*. Pengamatan dilakukan pada jendela koordinat yang sama dengan skala warna seragam, yaitu biru tua (0 m/s), biru (2,1 m/s), dan biru muda (4,2 m/s).

Pada kondisi tanpa deflektor, area gap didominasi warna biru (2,1 m/s) yang menunjukkan dominasi kecepatan menengah. Variasi deflektor 0° menampilkan distribusi warna yang lebih beragam tanpa dominasi yang jelas. Pada sudut 10° , pola warna sejajar dengan kontur bodi dan didominasi biru tua, yang menunjukkan perlambatan aliran yang lebih teratur dan pembentukan *boundary layer* yang lebih stabil.

Sebaliknya, sudut 20° memperlihatkan dominasi luas warna biru tua yang mengindikasikan terbentuknya *no-velocity zone* yang besar akibat kehilangan energi aliran, sehingga berpotensi meningkatkan hambatan aerodinamika. Pada sudut 30° , dominasi warna berubah dari biru tua menjadi biru setelah melewati deflektor, yang menunjukkan adanya pemulihan kecepatan sebagian.

Secara keseluruhan, sudut 10° menghasilkan distribusi aliran paling stabil dan terarah, sedangkan sudut 20° menunjukkan kondisi paling tidak menguntungkan di area gap antara kabin dan box truk.

Velocity Streamline pada $Re\ 1,32 \times 10^7$



Gambar 12. *Velocity Streamline* Kendaraan Truk pada $Re\ 1,32 \times 10^7$: (a) Tanpa Deflektor, (b) Sudut 0° , (c) Sudut 10° , (d) Sudut 20° , (e) Sudut 30°

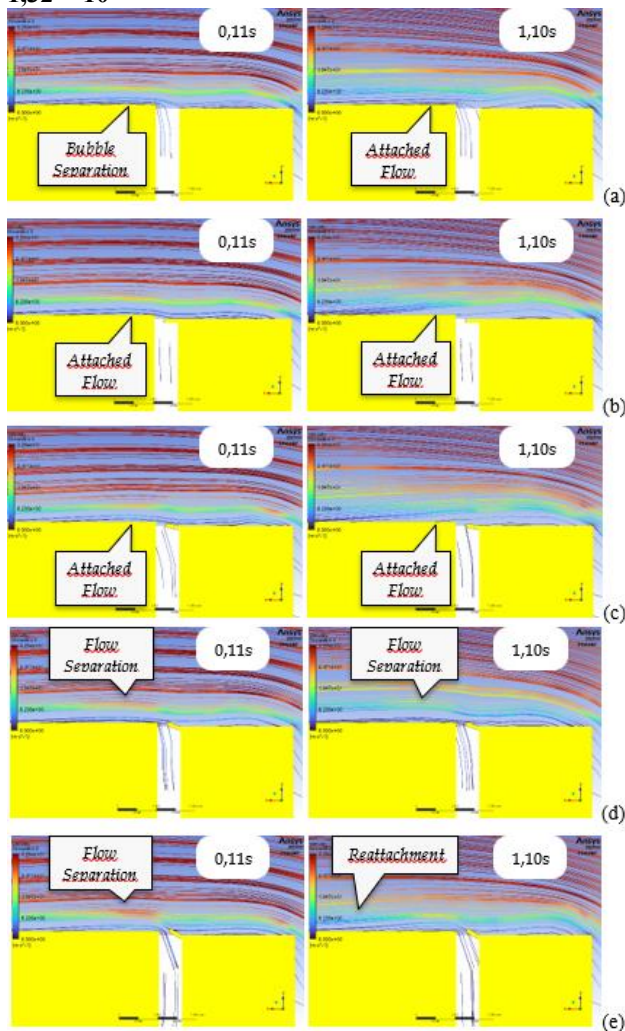
Analisis *velocity streamline* pada $Re = 1,32 \times 10^7$ dilakukan untuk mengevaluasi arah dan keteraturan aliran udara di area gap antara kabin dan box truk akibat variasi sudut *side deflector*. Seluruh variasi dianalisis pada jendela koordinat yang sama agar perbandingan pola aliran dapat dilakukan secara konsisten.

Pada kondisi tanpa deflektor, aliran setelah melewati bagian depan box tidak sejajar dengan kontur bodi dan cenderung menjauh dari permukaan. Variasi deflektor 0° mulai mengarahkan aliran agar lebih sejajar dengan bodi, namun masih terjadi pembelokan ringan.

Konfigurasi 10° menghasilkan pola *streamline* paling teratur, dengan aliran yang sejajar, halus, dan berkesinambungan tanpa indikasi *separation*, sehingga menunjukkan kondisi aliran paling stabil. Sebaliknya, sudut 20° menimbulkan pembelokan aliran yang lebih kuat sehingga aliran menjauh dari bodi dan menunjukkan indikasi *separation*. Pada sudut 30° , aliran mengalami gangguan awal setelah melewati deflektor, namun sebagian kembali mendekati arah sejajar terhadap bodi di bagian hilir.

Secara keseluruhan, sudut 10° menghasilkan mekanisme aliran paling stabil dan terarah, sedangkan sudut 20° menunjukkan kondisi aliran paling tidak menguntungkan di area gap antara kabin dan box truk.

Velocity Streamline pada Kondisi Transient pada $Re\ 1,32 \times 10^7$



Gambar 13. Velocity Streamline pada Kondisi Transient pada $Re\ 1,32 \times 10^7$: (a) Tanpa Deflektor, (b) Sudut 0° , (c) Sudut 10° , (d) Sudut 20° , (e) Sudut 30°

Analisis transien dilakukan pada 0,11 s dan 1,10 s untuk mengamati perkembangan struktur aliran udara di sekitar bodi truk akibat variasi sudut *side deflector*.

Pada 0,11 s, kondisi tanpa deflektor menunjukkan *bubble separation* akibat aliran yang menabrak dinding depan box sebelum kembali menempel. Variasi 0° dan 10° menunjukkan aliran yang mengikuti kontur bodi tanpa separasi yang signifikan. Sebaliknya, 20° menimbulkan separasi yang jelas setelah melewati deflektor, sedangkan 30° menunjukkan separasi sesaat namun masih terjadi *reattachment* pada permukaan box.

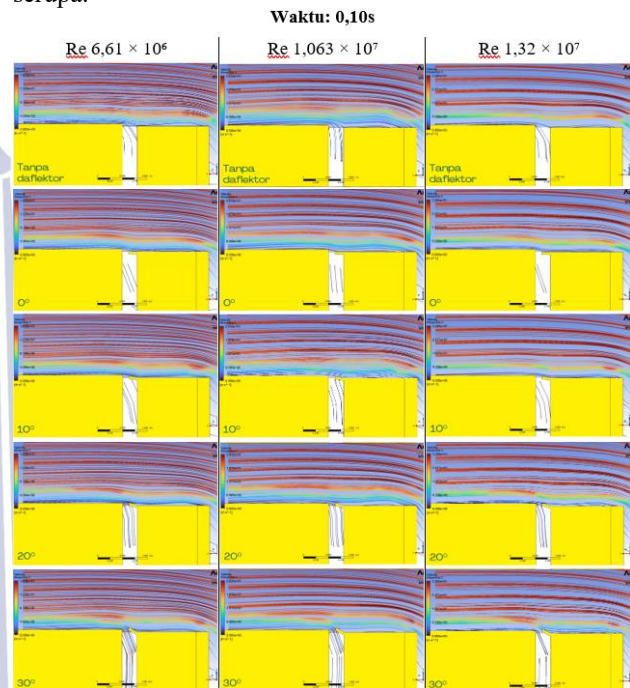
Pada 1,10 s, karakteristik aliran menjadi lebih stabil. Kondisi tanpa deflektor, 0° , dan 10° menunjukkan aliran yang menempel pada bodi, dengan 10° mencapai kondisi *attached flow* yang paling stabil. Sebaliknya, 20° mengalami perkembangan zona separasi yang luas tanpa *reattachment*, sedangkan 30° masih menunjukkan separasi namun aliran kembali menempel di bagian hilir.

Secara keseluruhan, sudut rendah (0° dan 10°) mampu menstabilkan aliran, sedangkan sudut tinggi (20° dan 30°) cenderung memicu separasi. Berdasarkan konsistensi aliran pada kedua *time step*, sudut 10° merupakan

konfigurasi paling optimal karena mampu mempertahankan *attached flow* dan meminimalkan potensi hambatan aerodinamika.

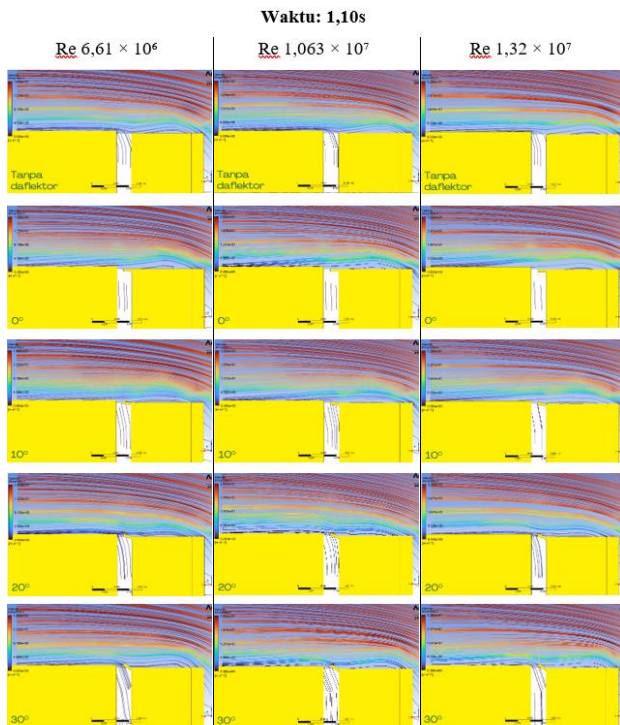
Pengaruh Variasi Reynolds Number terhadap Velocity Streamline dalam Kondisi Transient

Analisis transien pada time step 0,10 s untuk variasi $Re\ 6,61 \times 10^6$, $Re\ 1,063 \times 10^7$, dan $Re\ 1,32 \times 10^7$ menunjukkan pola perkembangan awal aliran yang relatif serupa.



Gambar 14. Gambar pengaruh variasi Reynolds Number terhadap Velocity Streamline pada Kondisi Transient pada Waktu 0,10s pada variasi sudut deflektor, tanpa deflektor, sudut 0° , sudut 10° , sudut 20° , dan sudut 30°

Tanpa deflektor, aliran cenderung mengikuti kontur bodi truk dengan gangguan ringan di area gap. Sudut 0° menghasilkan *attached flow* yang stabil sejak awal. Sudut 10° menunjukkan *bubble separation* kecil pada $Re\ 6,61 \times 10^6$ dan $Re\ 1,063 \times 10^7$, namun tidak muncul pada $Re\ 1,32 \times 10^7$. Sudut 20° mulai memperlihatkan indikasi separasi setelah melewati deflektor, sedangkan sudut 30° mengalami separasi sesaat yang kemudian mengalami *reattachment*. Secara umum, perbedaan karakteristik aliran antar variasi Reynolds pada waktu 0,10 s tidak signifikan.



Gambar 15. Gambar pengaruh variasi *Reynolds Number* terhadap *Velocity Streamline* pada Kondisi *Transient* pada Waktu 1,10s pada variasi sudut deflektor, tanpa deflektor, sudut 0°, sudut 10°, sudut 20°, dan sudut 30°

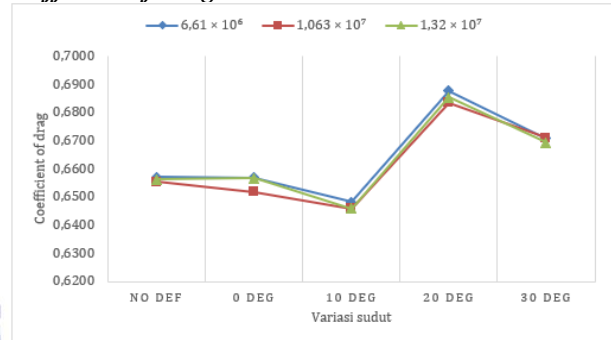
Tanpa deflektor, aliran cenderung mengikuti kontur bodi truk dengan gangguan ringan di area gap. Sudut 0° menghasilkan *attached flow* yang stabil sejak awal. Sudut 10° menunjukkan *bubble separation* kecil pada $Re\ 6,61 \times 10^6$ dan $Re\ 1,063 \times 10^7$, namun tidak muncul pada $Re\ 1,32 \times 10^7$. Sudut 20° mulai memperlihatkan indikasi separasi setelah melewati deflektor, sedangkan sudut 30° mengalami separasi sesaat yang kemudian mengalami *reattachment*. Secara umum, perbedaan karakteristik aliran antar variasi *Reynolds* pada waktu 0,10 s tidak signifikan.

Analisis transien pada *time step* 1,10 s menunjukkan aliran yang lebih berkembang dan stabil dibandingkan kondisi 0,10 s pada seluruh variasi *Reynolds*. Tanpa deflektor serta sudut 0° dan 10° menghasilkan *attached flow* yang konsisten pada semua nilai *Re*. Sudut 20° masih mengalami separasi aliran, namun luasannya semakin mengecil seiring meningkatnya bilangan *Reynolds*. Sementara itu, sudut 30° menunjukkan fenomena *reattachment* yang semakin cepat dan stabil pada *Re* yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, peningkatan *Reynolds* pada waktu 1,10 s berperan dalam memperkecil separasi pada sudut 20° dan mempercepat proses *reattachment* pada sudut 30°.

Perbedaan hasil antara *time step* 0,10 s dan 1,10 s terjadi karena pada tahap awal aliran masih dalam proses penyesuaian terhadap geometri kabin dan box truk sehingga tekanan dan arah aliran belum stabil, yang memicu munculnya separasi sementara. Seiring bertambahnya waktu menjadi 1,10 s, aliran menjadi lebih berkembang dan mampu mengikuti kontur bodi dengan lebih baik sehingga pola aliran lebih stabil dan cenderung menempel pada permukaan. Selain itu, peningkatan

bilangan *Reynolds* memberikan energi aliran yang lebih besar sehingga membantu memperkecil daerah separasi dan mempercepat proses *reattachment*.

Pengaruh Variasi *Reynolds Number* terhadap *Coefficient of Drag*

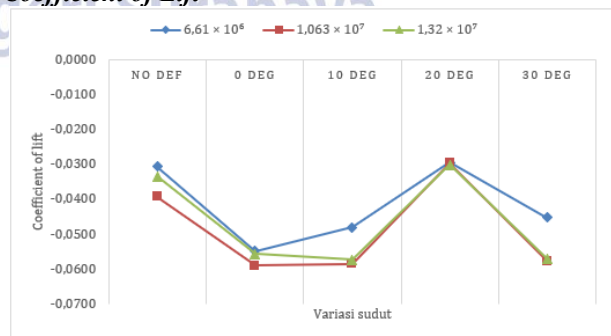


Gambar 16. Grafik Pengaruh Variasi *Reynolds Number* terhadap *Coefficient Of Drag* (C_D) pada Variasi Sudut Deflektor, Tanpa Deflektor, Sudut 0°, Sudut 10°, Sudut 20°, dan Sudut 30°

Analisis pengaruh bilangan *Reynolds* ($Re = 6,61 \times 10^6$; $1,063 \times 10^7$; $1,32 \times 10^7$) terhadap koefisien drag (C_D) menunjukkan bahwa perubahan *Re* tidak selalu menurunkan hambatan, melainkan sangat bergantung pada geometri *side deflector*. Tanpa deflektor, C_D relatif konstan (0,656) di seluruh *Re* karena pola *separation* dan *wake* tidak banyak berubah. Sudut 0° dan 30° menunjukkan fluktuasi moderat, menandakan peningkatan *Re* hanya memberi pengaruh marginal terhadap kestabilan aliran.

Sudut 10° memberikan performa paling optimal dan konsisten, dengan C_D terendah (0,646) pada $Re\ 1,063 \times 10^7$ hingga $1,32 \times 10^7$, karena mampu mempertahankan *attached flow* dan memperkecil *wake* secara stabil. Sebaliknya, sudut 20° selalu menghasilkan C_D tertinggi (0,688) akibat *separation* dini yang tidak dapat diperbaiki secara signifikan meskipun *Re* meningkat. Secara keseluruhan, efektivitas deflektor lebih ditentukan oleh sudut geometrinya dibandingkan oleh kenaikan *Reynolds number*.

Pengaruh Variasi *Reynolds Number* terhadap *Coefficient of Lift*



Gambar 17. Grafik Pengaruh Variasi *Reynolds Number* terhadap *Coefficient Of lift* (C_L) pada Variasi Sudut Deflektor, Tanpa Deflektor, Sudut 0°, Sudut 10°, Sudut 20°, dan Sudut 30°

Analisis pengaruh bilangan Reynolds ($6,61 \times 10^6$; $1,063 \times 10^7$; $1,32 \times 10^7$) terhadap koefisien lift (C_L) menunjukkan bahwa peningkatan Re umumnya memperkuat gaya tekan ke bawah (C_L makin menurun), namun efektivitasnya bergantung pada sudut deflektor.

Tanpa deflektor, C_L berfluktuasi dan tidak linier terhadap Re. Sudut 0° dan 30° menunjukkan penurunan C_L yang cukup jelas saat Re meningkat, meskipun stabilitasnya berbeda. Sudut 10° memberikan performa paling stabil dan optimal pada Re $1,063 \times 10^7$ - $1,32 \times 10^7$ (-0,058), karena mampu mempertahankan *attached flow* dan distribusi tekanan yang efektif. Sebaliknya, sudut 20° menghasilkan C_L paling mendekati nol (-0,029) dan relatif tidak sensitif terhadap perubahan Re akibat *separation* dini. Secara keseluruhan, sudut 10° pada Re menengah-tinggi memberikan stabilitas vertikal terbaik.

Simpulan

Kesimpulan dari hasil simulasi numerik dan analisis aerodinamika kendaraan truk dengan variasi sudut deflektor samping pada tiga bilangan Reynolds, yaitu $6,61 \times 10^6$, $1,063 \times 10^7$, dan $1,32 \times 10^7$, yang dianalisis melalui *velocity contour*, *velocity streamline*, koefisien drag (C_D), dan koefisien lift (C_L). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan deflektor samping mampu mengubah pola aliran udara di sekitar truk, di mana kondisi tanpa deflektor menghasilkan aliran yang kurang terarah dengan zona perlambatan yang luas di sekitar kabin. Variasi sudut deflektor 10° menghasilkan pola aliran paling teratur dan stabil dengan *streamline* yang lebih rapat serta distribusi kontur kecepatan yang lebih seragam. Sebaliknya, sudut 20° menyebabkan pembelokan aliran yang berlebihan sehingga memicu pemisahan aliran lebih dini dan menghasilkan kualitas aliran paling buruk, sedangkan sudut 0° dan 30° memberikan perbaikan pola aliran dibandingkan tanpa deflektor namun belum seoptimal konfigurasi sudut 10° . Dari sisi kinerja aerodinamis, nilai koefisien drag lebih dipengaruhi oleh variasi sudut deflektor dibandingkan perubahan bilangan Reynolds, di mana sudut 10° secara konsisten menghasilkan nilai C_D terendah sebesar 0,646 pada seluruh variasi Reynolds, sementara sudut 20° menghasilkan nilai C_D tertinggi sebesar 0,688, dengan sudut 0° dan 30° berada di antara keduanya. Selain itu, seluruh konfigurasi menghasilkan koefisien lift bernilai negatif yang menunjukkan kecenderungan gaya tekan ke bawah pada kendaraan, di mana sudut 0° , 10° , dan 30° menghasilkan nilai C_L yang relatif kecil dan stabil terhadap perubahan Reynolds dengan sudut 10° menunjukkan kestabilan terbaik sebesar -0,0585, sedangkan sudut 20° menghasilkan nilai C_L paling besar sehingga menjadi konfigurasi yang paling kurang efektif dalam mengurangi gaya angkat. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan deflektor samping dengan sudut 10° merupakan konfigurasi paling optimal dalam meningkatkan performa

aerodinamika kendaraan truk, sementara sudut 20° menunjukkan kinerja yang paling kurang baik dibandingkan variasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ait Moussa, A., Fischer, J., & Yadav, R. (2015). Aerodynamic Drag Reduction for a Generic Truck Using Geometrically Optimized Rear Cabin Bumps. *Journal of Engineering*, 2015, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2015/789475>
- Damissie, H. Y., & Babu, N. R. (2017). Aerodynamic Drag Reduction on Locally Built Bus Body using Computational Fluid Dynamics (CFD): A Case Study at Bishoftu Automotive Industry. *International Journal of Engineering Research*, 6(11).
- Gao, W., He, Y., & Zhaowen, D. (2022). A comparative study of tail air-deflector designs on aerodynamic drag reduction of medium-duty trucks. *International Journal of Vehicle Performance*, 1, 1. <https://doi.org/10.1504/IJVP.2022.10044957>
- Kepekçi, H. (2023). Investigation of the effect of the use of top deflectors on aerodynamic performance in vehicles with CFD analysis. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 12(2), 44-50. <https://doi.org/10.18245/ijaet.1220476>
- Khosravi, M., Mosaddeghi, F., Oveisi, M., & Khodayari-B, A. (2015). Aerodynamic drag reduction of heavy vehicles using append devices by CFD analysis. *Journal of Central South University*, 22(12), 4645-4652. <https://doi.org/10.1007/s11771-015-3015-7>
- Lee, Y., & Park, H. (2023). A Study on Aerodynamic and Structural Design of Fairing Using Glass Fabric Composite Structure. *Applied Sciences*, 13(6), 3765. <https://doi.org/10.3390/app13063765>
- Maine, M., Oumami, M. E., & Bouksour, O. (2023). Aerodynamic Drag Reduction Around Vehicles Using a Curved Deflector. *The International Journal of Integrated Engineering*, 15(7). <https://doi.org/10.30880/ijie.2023.15.07.003>
- Selenbas, B., Gunes, H., Gocmen, K., Bahceci, U., & Bayram, B. (2010). An Aerodynamic Design and Optimization of a Heavy Truck for Drag Reduction. *ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Volume 3*, 121-129. <https://doi.org/10.1115/ESDA2010-24482>
- Skrucany, T., Semanova, S., Milojević, S., & Ašonja, A. (2019). New Technologies Improving Aerodynamic Properties of Freight Vehicles. *Applied Engineering Letters: Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(2), 48-54. <https://doi.org/10.18485/aeletters.2019.4.2.2>
- Sperling, D., & Gordon, D. (2009). Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195376647.001.0001>
- Stephens, R. G., & Babinsky, H. (2016). An Experimental Study on Truck Side-Skirt Flow. *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, 9(2), 625-637. <https://doi.org/10.4271/2016-01-1593>
- Yoon, D.-H., Yang, K.-S., & Choi, C.-B. (2010). Flow past a square cylinder with an angle of incidence. *Physics of*

Fluids, 22(4), 043603.
<https://doi.org/10.1063/1.3388857>

Yunqing, G., Tao, L., Jiegang, M., Zhengzan, S., & Peijian, Z. (2017). Analysis of Drag Reduction Methods and Mechanisms of Turbulent. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2017, 1-8.
<https://doi.org/10.1155/2017/6858720>



UNESA
Universitas Negeri Surabaya