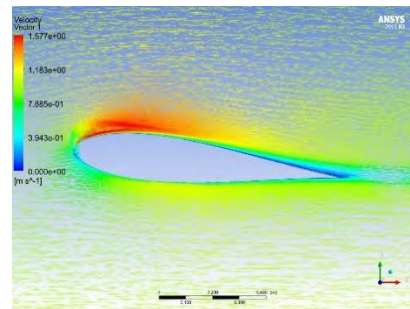
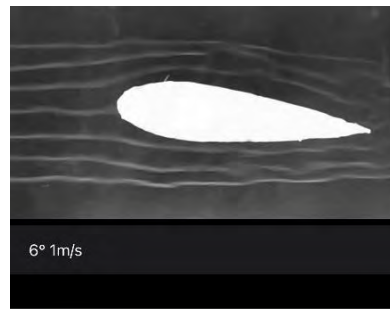


## BAB IV

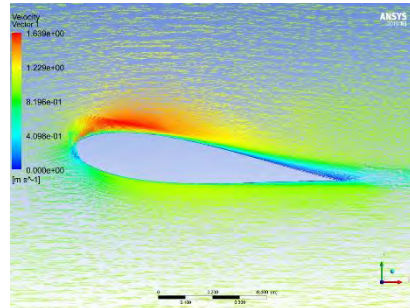
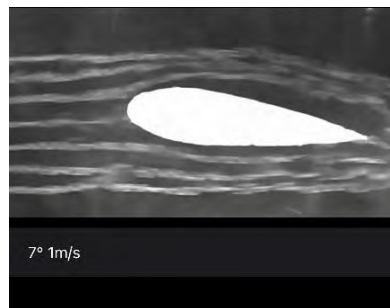
### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perbandingan Data *Streamlines* Hasil Eksperimen Dengan Studi Numerik

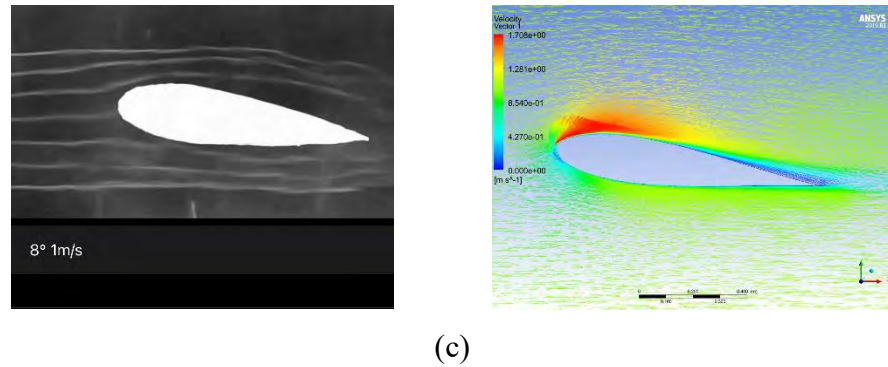
Perbandingan *streamline* data hasil eksperimen menggunakan *wind tunnel* dan data hasil dari studi numerik (simulasi) menggunakan aplikasi ANSYS 19 pada *airfoil* NACA S1046 dapat dilihat pada gambar 4.1 untuk kecepatan 1 m/s, 4.2 untuk kecepatan 2 m/s, dan 4.3 untuk kecepatan 3 m/s yang masing-masing memiliki sudut serang  $6^\circ$ ,  $7^\circ$ , dan  $8^\circ$ .



(a)

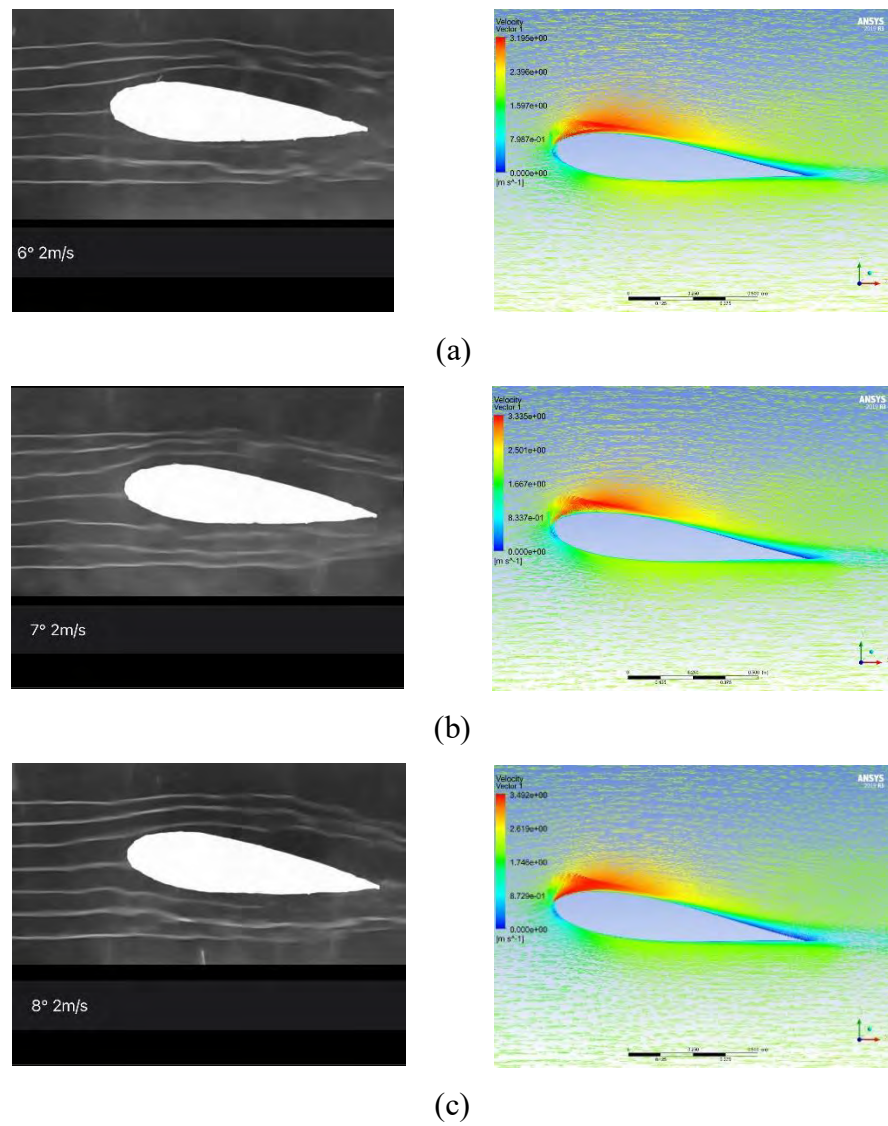


(b)



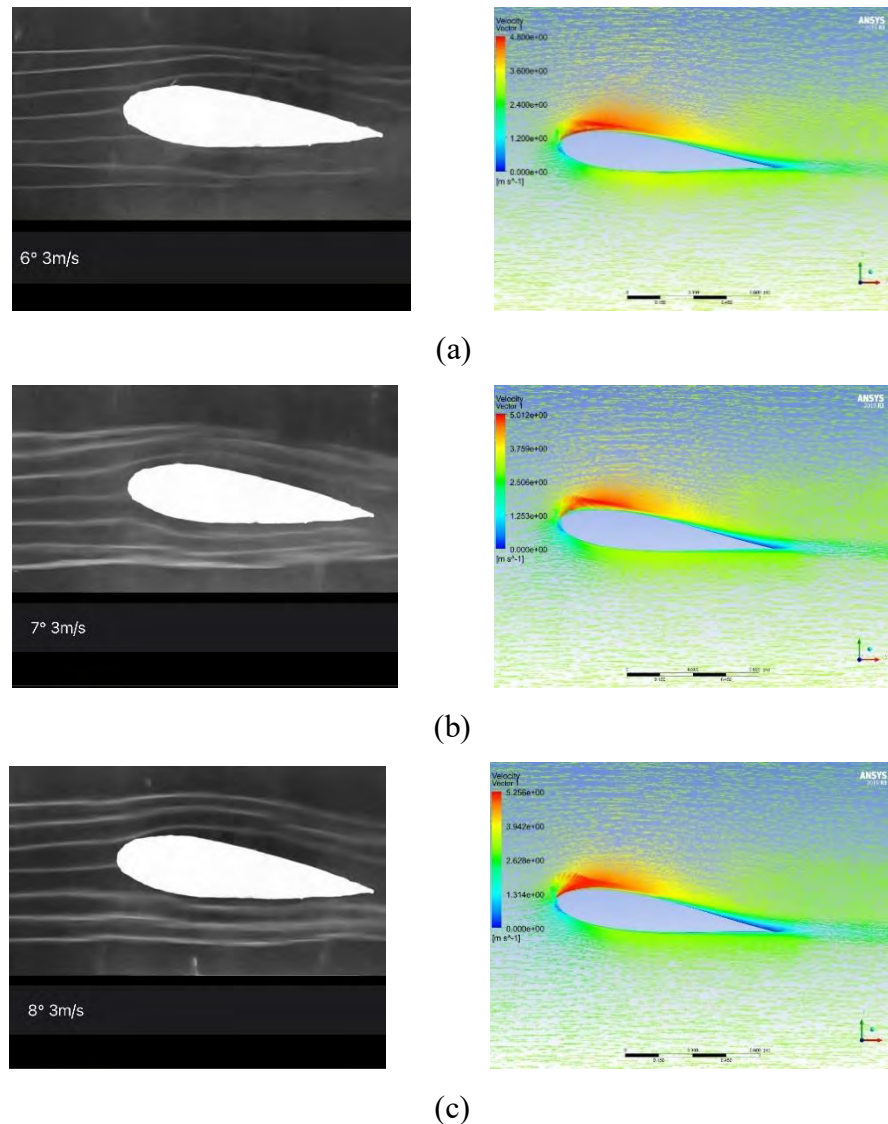
**Gambar 4.1** *Streamlines* Aliran Pada Kecepatan 1 m/s Tanpa Turbulator

(a) Sudut Serang 6° (b) Sudut Serang 7° (c) Sudut Serang 8°



**Gambar 4.2** *Streamlines* Aliran Pada Kecepatan 2 m/s Tanpa Turbulator

(a) Sudut Serang 6° (b) Sudut Serang 7° (c) Sudut Serang 8°



**Gambar 4.3** Streamlines Aliran Pada Kecepatan 3 m/s Tanpa Turbulator

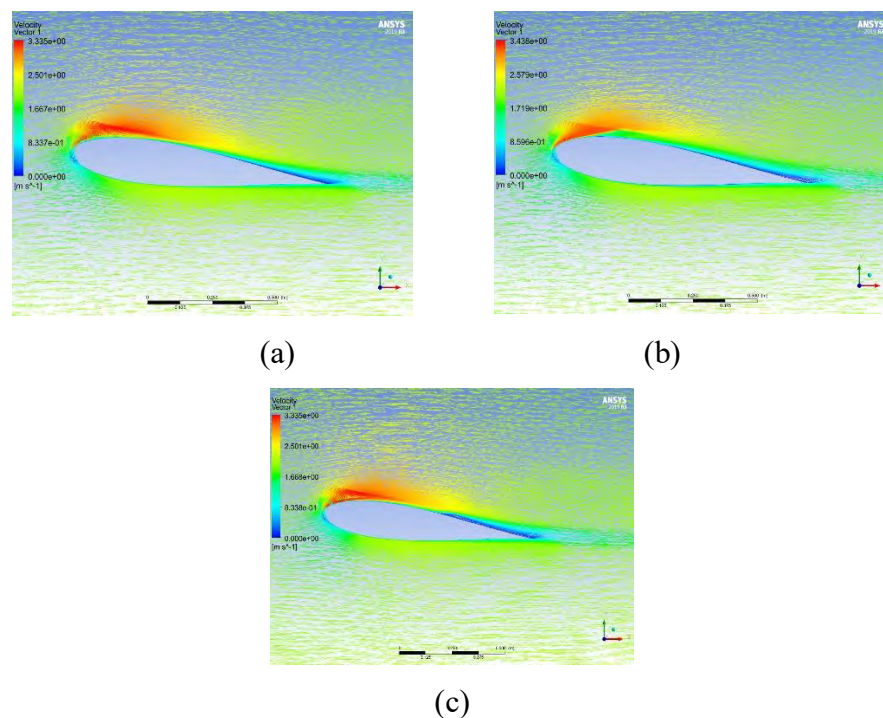
(a) Sudut Serang  $6^\circ$  (b) Sudut Serang  $7^\circ$  (c) Sudut Serang  $8^\circ$

Sesuai dengan percobaan eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya oleh Arief Mukhlisin (2022) dimana separasi aliran terlihat paling jelas pada sudut serang  $7^\circ$  di semua nilai kecepatan dibanding sudut serang sebelumnya yang diawali dengan adanya *forward saddle point* yang merupakan awal mula terjadinya separasi aliran di depan *leading edge*. Dapat dilihat pula gradasi warna di tiap gambar, yang menandakan terjadi separasi, salah satunya pada gambar 4.3 a. Sudut Serang  $7^\circ$ , pada daerah merah, menunjukkan daerah fluida dengan kecepatan tertinggi yang diatur, yaitu 3 m/s. Apabila tidak ada separasi, maka area dengan warna merah akan lebih dominan sampai ke *trailing edge*. Warna

kuning, hijau dan biru muda menunjukkan kecepatan yang semakin rendah secara berurutan, 3,7 m/s, 2,5 m/s dan 1,2 m/s. Sedangkan untuk warna biru tua, dengan kecepatan 0 m/s menunjukkan kecepatan di area *boundary layer*. Indikasi separasi aliran atau lepasnya aliran dari kontour bodi, ditunjukkan oleh meluasnya area kuning, hijau dan biru muda, dengan kata lain kecepatan pada bagian atas *airfoil* secara signifikan berkurang akibat adanya separasi aliran. Hal ini lah yang dapat mengurangi nilai gaya angkat dan meningkatkan gaya hambat.

Pada gambar 4.1, 4.2, maupun 4.3 keduanya menampilkan pola aliran yang mirip/identik antara pengujian dengan eksperimen dan studi numerik. Pada kedua hasil pengujian, titik awal separasi mulai terlihat di dekat *leading edge* dengan jarak kurang lebih 10% sampai 20% panjang *airfoil*. Maka, analisis selanjutnya dapat dipertegas menggunakan analisis hasil studi numerik.

Selanjutnya, akan ditampilkan gambar perbandingan visualisasi aliran hasil simulasi (*post-processing*) pada *airfoil* tanpa dan dengan penambahan *turbulator*.



**Gambar 4.4** *Streamlines Vector*

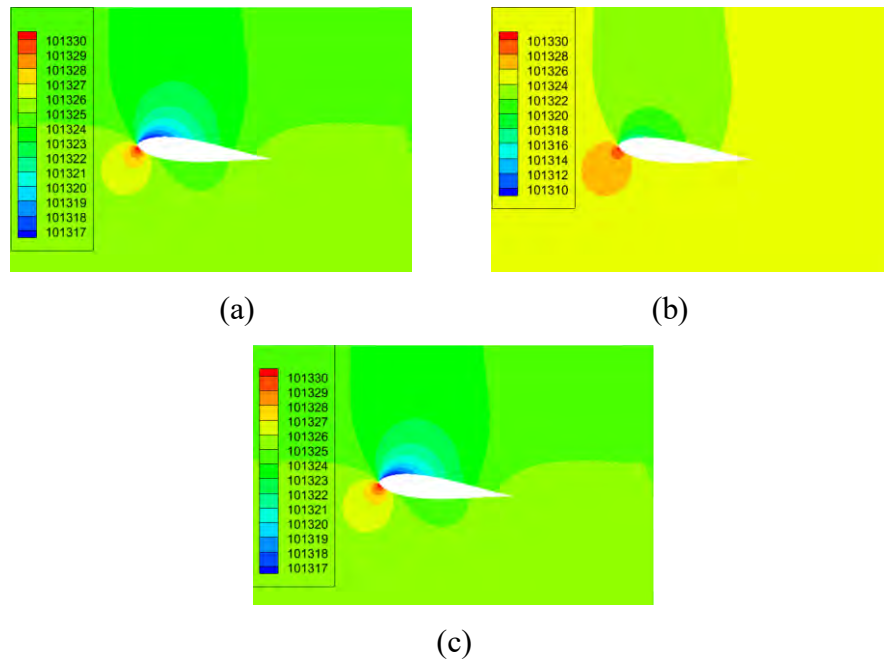
Aliran Pada Kecepatan 2 m/s Dengan Sudut Serang  $7^\circ$  (a) Tanpa VG,  
(b) Dengan VG 10% (c) Dengan VG 50%

Berdasarkan hasil visualisasi aliran di tiap sudut serang dan kecepatan aliran, dapat terlihat bahwa *turbulator* dapat menunda titik separasi aliran, dimana bisa dilihat bahwa kebanyakan aliran tetap menempel pada *boundary layer* di sekitar (dekat) permukaan *airfoil*. Dengan penundaan titik separasi paling jelas terlihat pada penambahan *turbulator* dengan peletakkan 50%*C*, dimana dapat dilihat aliran menjadi *turbulence* pada area berwarna biru tua yang sedikit melebar di bagian belakang sehingga momentum aliran pada *boundary layer* meningkat dan dapat mengambil energi dari *freestream* untuk mengatasi separasi aliran (menunda separasi). Pada variasi peletakkan *turbulator* 50% *chord* ini, separasi yang ditunjukkan dengan titik awal meluasnya area berwarna kuning, hijau dan biru muda (area dengan kecepatan yang lebih rendah dibandingkan area berwarna merah) dengan nilai kecepatan masing-masing 3,7 m/s, 2,5 m/s, dan 1,2 m/s menjadi lebih jauh ke belakang jika dibandingkan tanpa *turbulator*. Area warna kuning dengan kecepatan 3,7 m/s menjadi lebih panjang dan titik terlihatnya area warna hijau sampai biru tua menjadi lebih jauh dibandingkan tanpa *airfoil*. Berbeda dengan peletakkan *turbulator* pada 10%*C* dimana separasi tidak teratasi, justru meningkatkan tingkat separasi aliran, seperti pada gambar, titik awal meluasnya area dengan warna kuning, hijau dan biru tua, menjadi lebih awal (maju) dan luasnya jauh lebih besar daripada tanpa *airfoil*.

#### 4.2 Koefisien Tekanan ( $C_p$ )

Koefisien tekanan adalah bilangan tanpa dimensi yang mendeskripsikan tekanan statis related di medan aliran yang dapat digunakan untuk memahami karakteristik aliran fluida. Penyebaran tekanan statis sepanjang *airfoil* dapat menjelaskan karakteristik aliran fluida yang ada. Distribusi tekanan digambarkan berdasarkan warna yang ada, warna biru mengindikasikan tekanan paling rendah (*vacuum*) dan warna merah mengindikasikan tekanan tinggi.





**Gambar 4.5** Distribusi Koefisien Tekanan Pada Sudut Serang  $6^\circ$  dan Kecepatan 3 m/s (a)Tanpa VG, (b)Dengan VG 10%C (c)Dengan VG 50%

Pada gambar di atas ditunjukkan kontur koefisien tekanan pada *airfoil* NACA S1046 dengan dan tanpa *turbulator*. Pada gambar terlihat pergerakan aliran berdasarkan tekanan fluida, dimana pada ujung bawah kiri *airfoil* terdapat tekanan paling tinggi dengan kontur berwarna merah dan pada atas kiri *airfoil* terlihat daerah berwarna biru, yang berarti tekanan di daerah ini rendah dan berkecepatan tinggi. Selanjutnya pada bagian atas *airfoil*, dimana terdapat gradasi warna dari biru muda hingga hijau muda. Perpindahan warna hijau muda ke hijau tua menandakan daerah titik separasi. Setelah penambahan *turbulator* pada 10%C, dapat terlihat daerah hijau yang berkurang dan bertambahnya daerah kuning (yang tekanannya lebih tinggi), serta tidak ada perbedaan yang signifikan pada perpindahan warna dari hijau muda ke hijau tua pada bagian atas *airfoil*, yang mana menandakan *turbulator* pada posisi peletakan ini, 10%C, tidak berpengaruh untuk menunda separasi aliran. Berbeda dengan pada peletakan *turbulator* 50%C, gradasi warna kontur tekanannya tidak terlalu berbeda jauh dengan tanpa *turbulator*.

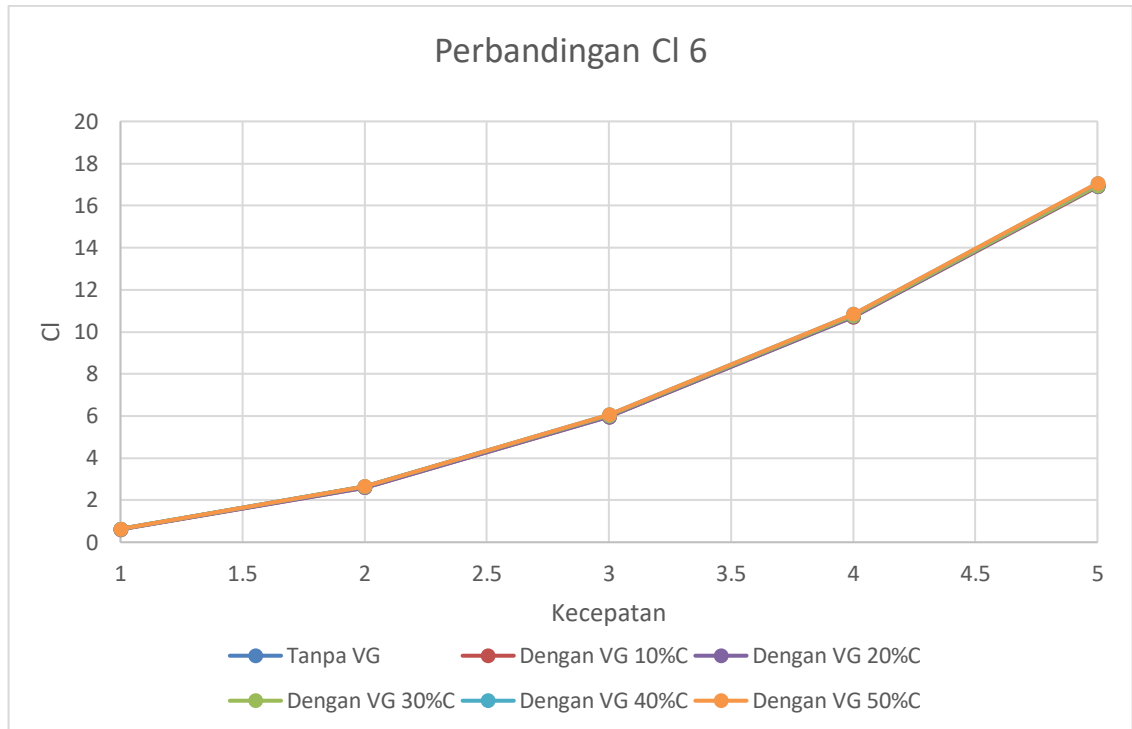
### 4.3 Koefisien *Lift* ( $C_l$ ) dan Koefisien *Drag* ( $C_d$ )

Salah satu cara untuk memahami karakteristik *airfoil* adalah dengan mengetahui nilai koefisien *lift* ( $C_l$ ) dan koefisien *drag* ( $C_d$ ). Nilai-nilai tersebut dapat diketahui melalui resultan gaya yang bekerja pada interaksi antara fluida dan permukaan sebuah benda. Gaya *lift* didapat dari resultan gaya yang arahnya tegak lurus dengan benda, sedangkan gaya *drag* didapat dari gaya yang sejajar dengan benda. Nilai koefisien *lift* yang diperoleh pada penelitian studi numerik (simulasi) kali ini dari hasil *post-processing* pada ANSYS 19 dapat dilihat pada gambar 4.1, 4.2 dan 4.3 yang menunjukkan nilai  $C_l$  (koefisien *lift*) dengan sudut serang  $6^\circ$ ,  $7^\circ$ ,  $8^\circ$  pada *airfoil* NACA S1046 dengan dan tanpa *turbulator* pada kecepatan 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s.

**Tabel 4.1** Nilai Koefisien Angkat Pada Sudut Serang  $6^\circ$

V (m/s)	Tanpa VG ( $6^\circ$ )	CI VG 10% ( $6^\circ$ )	CI VG 20% ( $6^\circ$ )	CI VG 30% ( $6^\circ$ )	CI VG 40% ( $6^\circ$ )	CI VG 50% ( $6^\circ$ )
1	0,6343	0,6131	0,6229	0,6336	0,6367	0,636
2	2,6508	2,5941	2,6063	2,6425	2,6628	2,6657
3	6,023	5,961	5,968	6,0208	6,065	6,0681
4	10,7635	10,7018	10,7166	10,7688	10,8422	10,8477
5	16,9314	16,892	16,9202	16,947	17,0501	17,0654

Berikut rincian hasil data koefisien angkat ( $C_l$ ) pada sudut serang  $6^\circ$  dalam grafik.



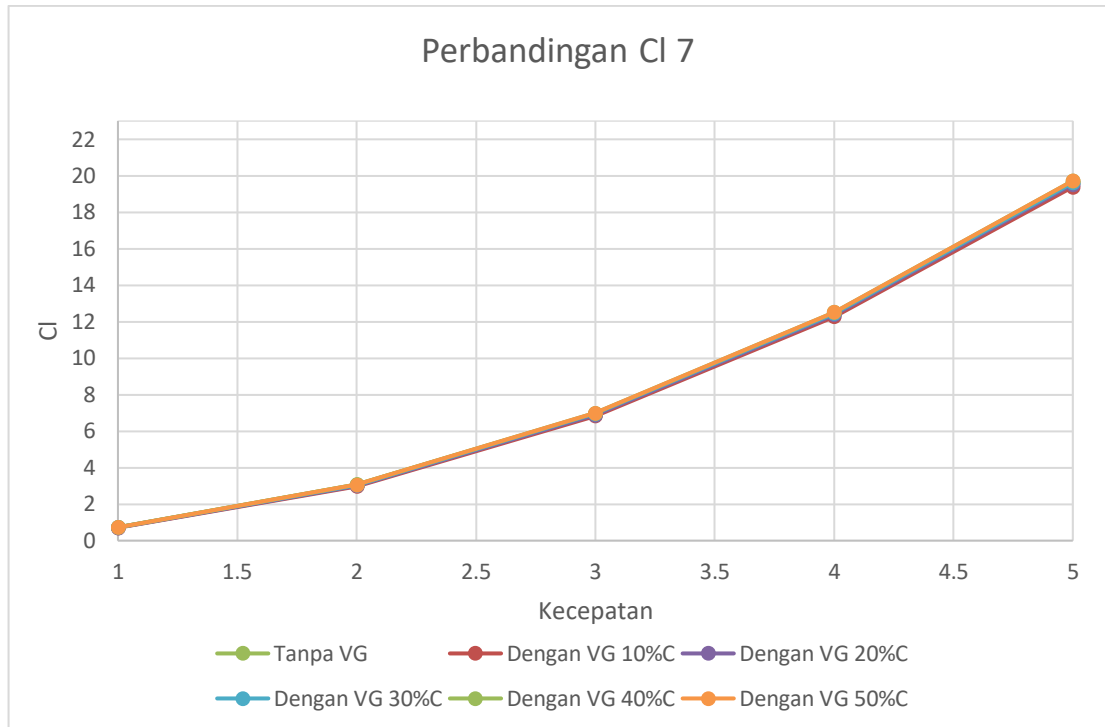
**Gambar 4.6** Perbandingan Nilai Koefisien Angkat / *Coefficient Lift* (Cl)  
Pada Sudut Serang 6°

**Tabel 4.2** Nilai Koefisien Angkat Pada Sudut Serang 7°

V (m/s)	Tanpa VG (7°)	Cl vg 10% (7°)	Cl vg 20%(7°)	Cl vg 30% (7°)	Cl vg 40% (7°)	Cl vg 50% (7°)
1	0,7275	0,7051	0,718	0,7283	0,7311	0,7274
2	3,062	2,9818	3,0132	3,0536	3,0764	3,0734
3	6,9562	6,8379	6,8892	6,9579	6,9998	6,9955
4	12,4565	12,282	12,3755	12,4596	12,5308	12,5272
5	19,6071	19,389	19,5322	19,6145	19,7214	19,722

Berikut rincian hasil data koefisien angkat (Cl) pada sudut serang 7° dalam grafik.



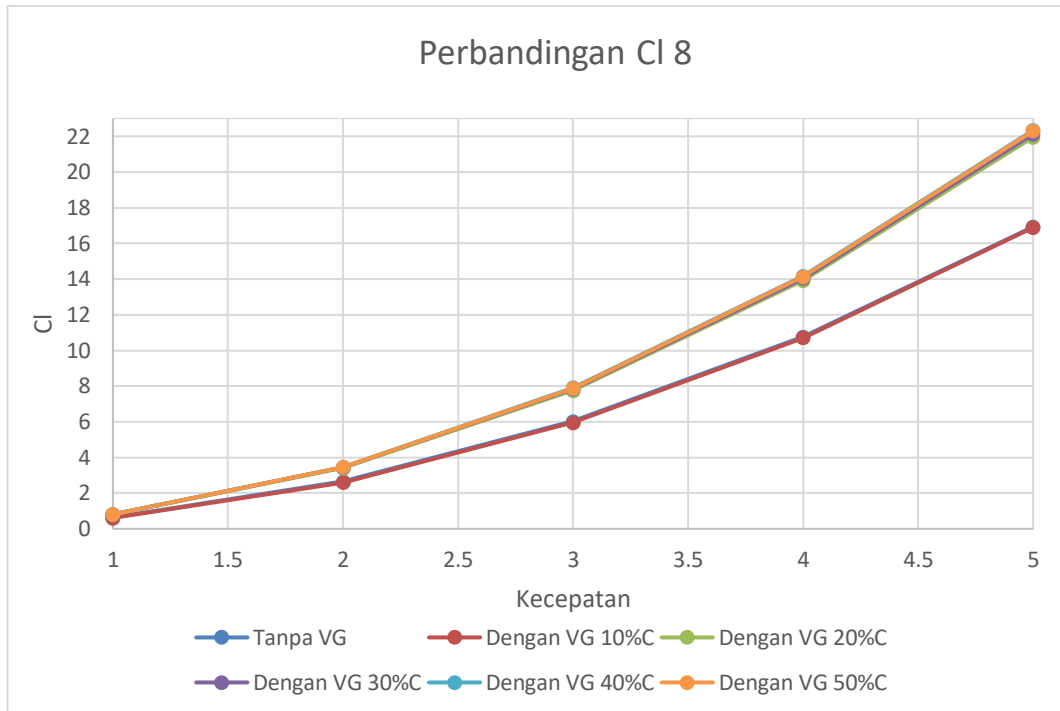


**Gambar 4.7** Perbandingan Nilai Koefisien Angkat / *Coefficient Lift (Cl)*  
Pada Sudut Serang 7°

**Tabel 4.3** Nilai Koefisien Angkat Pada Sudut Serang 8°

V (m/s)	Tanpa VG (8°)	Cl vg (8°)	Cl vg 20 (8°)	Cl vg 30 (8°)	Cl vg 40 (8°)	Cl vg 50 (8°)
1	0,811	0,7917	0,8069	0,8146	0,816	0,8086
2	3,4436	3,3595	3,3988	3,4398	3,4687	3,4557
3	7,8298	7,6745	7,7499	7,8385	7,9033	7,8764
4	14,045	13,7909	13,9174	14,0567	14,1804	14,1446
5	0,764	21,7603	21,9546	22,1321	22,3432	22,2965

Berikut rincian hasil data koefisien angkat (*Cl*) pada sudut serang 8° dalam grafik.



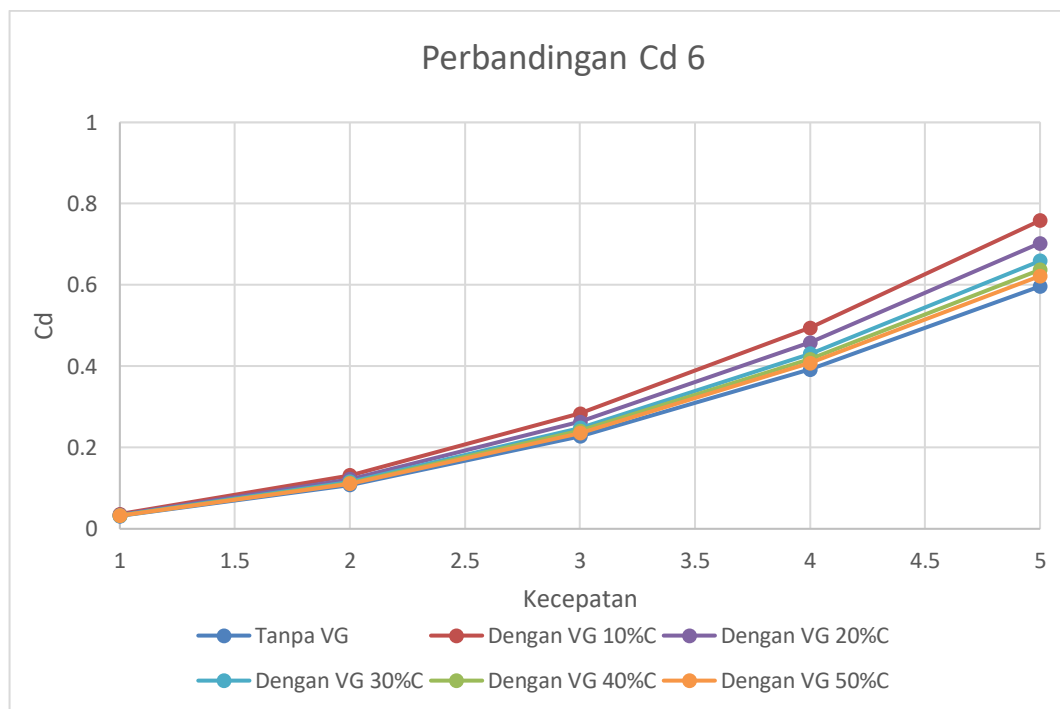
**Gambar 4.8** Perbandingan Nilai Koefisien Angkat / *Coefficient Lift (Cl)*  
Pada Sudut Serang  $8^\circ$

Berdasarkan tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa dengan adanya pengaplikasian *turbulator* pada *airfoil* dapat meningkatkan nilai koefisien angkat, dengan nilai koefisien angkat tertinggi relatif berbeda, pada sudut serang  $6^\circ$  koefisien angkat tertinggi terjadi pada posisi *turbulator* 50%C dengan nilai 17,0501, pada sudut serang  $7^\circ$  koefisien angkat tertinggi terjadi pada posisi *turbulator* 50%C dengan nilai 19,7214, dan pada sudut serang  $8^\circ$  koefisien angkat tertinggi terjadi pada posisi *turbulator* 40%C dengan nilai 22,3432. Hal ini dapat terjadi karena pada peletakkan *turbulator* tertentu dihasilkan momentum aliran yang lebih besar sehingga dapat melawan *adverse pressure gradient* dan tegangan geser, serta pada kecepatan tinggi, nilai kecepatan *freestream* menjadi lebih besar. Selanjutnya rincian data kuantitatif terhadap koefisien hambat.

**Tabel 4.4** Nilai Koefisien Hambat Pada Sudut Serang  $6^\circ$ 

V (m/s)	Tanpa VG ( $6^\circ$ )	Cd VG 10%( $6^\circ$ )	Cd VG 20% ( $6^\circ$ )	Cd VG 30% ( $6^\circ$ )	Cd VG 40% ( $6^\circ$ )	Cd VG 50% ( $6^\circ$ )
1	0,0318	0,0363	0,0343	0,0331	0,0326	0,0323
2	0,1076	0,1314	0,122	0,1158	0,1129	0,1107
3	0,2276	0,2837	0,2632	0,2481	0,2411	0,2358
4	0,3924	0,4949	0,4583	0,4307	0,4177	0,4079
5	0,5966	0,7584	0,703	0,6591	0,6373	0,622

Berikut rincian hasil data koefisien hambat ( $C_d$ ) pada sudut serang  $6^\circ$  dalam grafik.

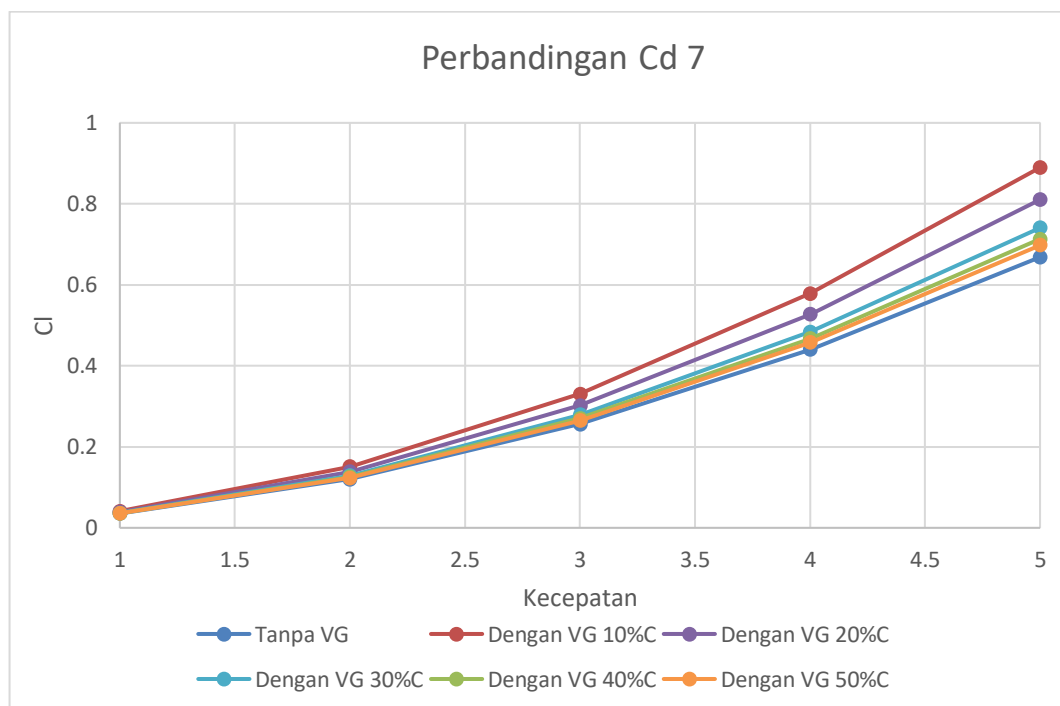


**Gambar 4.9** Perbandingan Nilai Koefisien Hambat / *Coefficient Drag* ( $C_d$ ) Pada Sudut Serang  $6^\circ$

**Tabel 4.5** Nilai Koefisien Hambat Pada Sudut Serang  $7^\circ$ 

V (m/s)	Tanpa VG ( $7^\circ$ )	Cd VG 10%( $7^\circ$ )	Cd VG 20% ( $7^\circ$ )	Cd VG 30% ( $7^\circ$ )	Cd VG 40% ( $7^\circ$ )	Cd VG 50% ( $7^\circ$ )
1	0,0353	0,0412	0,0385	0,0367	0,0361	0,0359
2	0,1198	0,1512	0,1385	0,1291	0,1253	0,1231
3	0,2557	0,3306	0,3019	0,2789	0,27	0,2645
4	0,4399	0,5788	0,5273	0,484	0,4672	0,4575
5	0,6683	0,8895	0,8102	0,7406	0,7132	0,6976

Berikut rincian hasil data koefisien hambat ( $C_d$ ) pada sudut serang  $7^\circ$  dalam grafik.

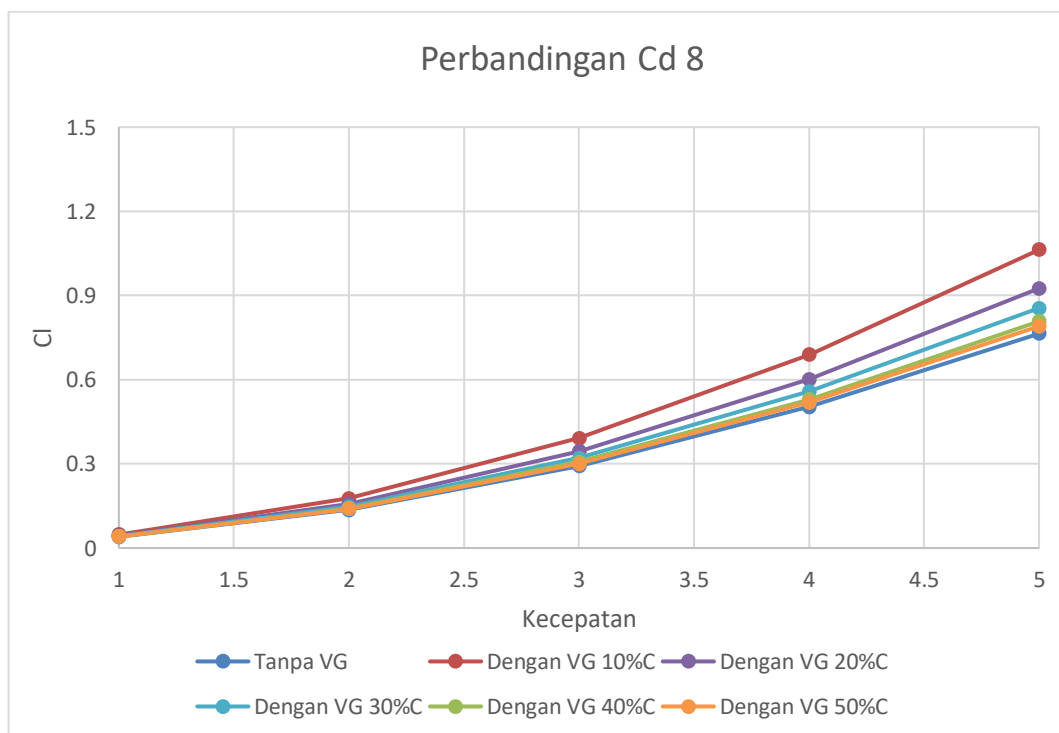


**Gambar 4.10** Perbandingan Nilai Koefisien Hambat / *Coefficient Drag* ( $C_d$ ) Pada Sudut Serang  $7^\circ$

**Tabel 4.6** Nilai Koefisien Hambat Pada Sudut Serang  $8^\circ$ 

V (m/s)	Tanpa VG ( $8^\circ$ )	Cd VG 10% ( $8^\circ$ )	Cd VG 20% ( $8^\circ$ )	Cd VG 30% ( $8^\circ$ )	Cd VG 40% ( $8^\circ$ )	Cd VG 50% ( $8^\circ$ )
1	0,0401	0,0476	0,0434	0,0415	0,0407	0,0407
2	0,1361	0,177	0,157	0,1472	0,1412	0,139
3	0,2927	0,3917	0,3446	0,321	0,3069	0,3005
4	0,503	0,6891	0,6015	0,5578	0,5296	0,5188
5	0,764	1,0629	0,9253	0,8552	0,8079	0,7905

Berikut rincian hasil data koefisien hambat ( $C_d$ ) pada sudut serang  $8^\circ$  dalam grafik.



**Gambar 4.11** Perbandingan Nilai Koefisien Hambat / *Coefficient Drag* ( $C_d$ ) Pada Sudut Serang  $8^\circ$

Berdasarkan tabel dan grafik koefisien *drag* dapat dilihat bahwa di tiap sudut serang dan kecepatan, nilai  $C_d$  pada *airfoil* dengan penambahan *turbulator* mengalami perubahan yang bervariasi, sama seperti pada koefisien

angkat. Dimana nilai koefisien hambat (setelah penambahan *turbulator*) terkecil pada sudut serang  $6^\circ$  di posisi 50%C dan 40%C, pada sudut serang  $7^\circ$  di posisi 50%C dan 40%C, dan pada sudut serang  $8^\circ$  pun sama, yaitu di posisi 50%C dan 40%C. Meskipun mengalami peningkatan, perbedaan antara penambahan *turbulator* yang paling efektif dengan tanpa *turbulator*, tidak terlalu signifikan.

Menurut literatur pada percobaan sebelumnya, oleh Nafiatun Nisa (2012), Kumara Dewi (2016) dan lain-lain, dikatakan bahwa dengan adanya penambahan *vortex generator/turbulator* seharusnya dapat menunda separasi aliran yang secara kuantitatif ditandai dengan adanya peningkatan pada koefisien angkat dan penurunan nilai pada koefisien hambat, pada studi numerik yang dilakukan pada penelitian kali ini, terjadi peningkatan nilai di kedua koefisien. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa factor, yang mana salah satunya, berdasarkan literatur, yang ada, tiap desain *turbulator* akan memiliki pengaruh yang berbeda-beda pada tiap jenis *airfoil* yang digunakan, kemungkinan tidak selalu sama, kemudian peletakan *turbulator* juga mempengaruhi perubahan koefisien angkat dan hambat. Pada data di atas, terlihat bahwa nilai koefisien angkat yang paling tinggi dan koefisien hambat yang paling rendah (meskipun terjadi peningkatan daripada tanpa penambahan *turbulator*) terjadi pada peletakan VG di 40%C dan pada peletakan 50%C. Meskipun kedua koefisien mengalami peningkatan, terdapat satu parameter lagi, yaitu rasio koefisien angkat dan hambat, dengan rasio ini dapat dilihat koefisien mana yang lebih tinggi peningkatannya.

#### **4.4 Rasio $C_l$ dan $C_d$ ( $C_l/C_d$ )**

Salah satu parameter yang juga penting untuk mengevaluasi karakteristik aliran dari *airfoil* adalah nilai  $C_l/C_d$ . Berikut data dari rasio  $C_l/C_d$ .

**Tabel 4.7** Rasio  $Cl/Cd$  Pada Sudut Serang  $6^\circ$ 

<b>V (m/s)</b>	<b>Tanpa VG (<math>6^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 10%(<math>6^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 20% (<math>6^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 30% (<math>6^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 40% (<math>6^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 50% (<math>6^\circ</math>)</b>
1	19,9465	16,8898	18,1603	18,1603	19,5306	19,6904
2	24,6356	19,742	21,3631	21,3631	23,5854	24,0803
3	26,463	21,0116	22,6747	22,6747	25,1555	25,734
4	27,4299	21,6241	23,3833	23,3833	25,9569	26,594
5	28,3798	22,2732	24,0685	24,0685	26,7536	27,4363

**Tabel 4.8** Rasio  $Cl/Cd$  Pada Sudut Serang  $7^\circ$ 

<b>V (m/s)</b>	<b>Tanpa VG (<math>7^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 10%(<math>7^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 20% (<math>7^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 30% (<math>7^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 40% (<math>7^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 50% (<math>7^\circ</math>)</b>
1	20,609	17,114	18,6493	19,8446	20,252	20,2618
2	25,5592	19,7208	21,7559	23,6529	24,5522	24,9666
3	27,2045	20,6833	22,8194	24,9476	25,9251	26,448
4	28,3166	21,2197	23,4695	25,7429	26,821	27,3818
5	29,3387	21,7976	24,1078	26,4846	27,6519	28,2712

**Tabel 4.9** Rasio  $Cl/Cd$  Pada Sudut Serang  $8^\circ$ 

<b>V (m/s)</b>	<b>Tanpa VG (<math>7^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 10%(<math>7^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 20% (<math>7^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 30% (<math>7^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 40% (<math>7^\circ</math>)</b>	<b>Cl/Cd 50% (<math>7^\circ</math>)</b>
1	20,2244	16,6323	18,5921	19,6289	20,0491	19,8673
2	25,3019	18,9802	21,6484	23,3682	24,5658	24,8611
3	26,7502	19,5928	22,4895	24,419	25,752	26,2109
4	27,9224	20,0129	23,1378	25,2002	26,7756	27,264
5	28,9602	20,4725	23,727	25,8794	27,6558	28,2055



Berdasarkan data di atas, terlihat bahwa rasio koefisien angkat dan hambat, dengan penambahan *turbulator* pada 10%C, memiliki nilai rasio paling kecil, jauh di bawah nilai rasio  $Cl/Cd$  sebelum penambahan *turbulator*, tidak seperti yang diharapkan. Hal ini menandakan peningkatan nilai koefisien hambat menjadi lebih besar, bahkan lebih besar persentase hambat dengan *turbulator* daripada tanpa *turbulator*. Dengan kata lain, penambahan *turbulator* pada posisi 10%C tidaklah efektif untuk *airfoil* jenis NACA S1046. Untuk penambahan VG/*turbulator* pada 40%C dan 50%C nilai rasio  $Cl/Cd$  mengalami peningkatan yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan rasio koefisien angkat dan hambat dari variasi peletakkan lainnya, yang berarti kedua variasi peletakkan ini merupakan yang paling efektif. Meskipun begitu, nilai rasio dari tiap variasi penambahan *turbulator* tidak lebih besar daripada sebelum penambahan *turbulator* dengan kata lain mengalami penurunan. Seperti penelitian sebelumnya, yang telah dilakukan oleh Nafiatun Nisa (2012) terjadi juga penurunan pada rasio koefisien angkat dan hambat setelah adanya penambahan *turbulator*.