

APPROACH

JURNAL TEKNOLOGI PENERBANGAN

**Simulasi Dinamika Aliran Turbulen Pada Flat Plate Boundary Layer
Menggunakan Turbulent Model $k - \epsilon$ (Standard, Realizable, RNG)**

1 - 11

Setyo Hariyadi



Akademi Teknik Dan Keselamatan Penerbangan
Civil Aviation Safety And Engineering Academy
Surabaya



Simulasi Dinamika Aliran Turbulen Pada Flat Plate Boundary Layer Menggunakan Turbulent Model $k - \epsilon$ (Standard, Realizable, RNG) Setyo Hariyadi S.P.^{1,2}

¹⁾ Laboratorium Mekanika dan Mesin Fluida

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

²⁾ Akademi Teknik dan Keselamatan Penerbangan Surabaya

Jemur Andayani I/73 Wonocolo Surabaya 60236 Indonesia Telp. 031-8410871

Email: hudzaifahsetyo@gmail.com

Abstrak

Aliran turbulen banyak dijumpai pada kehidupan kita sehari-hari baik di dunia industri, rumah tangga maupun di alam. Besaran-besaran di dalam aliran turbulen terdiri atas komponen rata-rata dan komponen fluktuasi. Di dalam aliran turbulen besaran-besaran seperti kecepatan, densitas, temperatur, entalpi mengalami fluktuasi. Fluktuasi besaran-besaran ini berperan sangat penting terhadap energi kinetik aliran berikut besaran lain yang merupakan derivasi dari fluktuasi tersebut.

Studi numerik telah dilaksanakan untuk menguji kinerja aerodinamis pada plat datar dengan menggunakan beberapa turbulen model $k - \epsilon$ (Standard, Realizable, RNG). Kecepatan freestream yang digunakan yaitu kecepatan 10 m/s dan pada kondisi udara standard. Parameter yang dievaluasi meliputi distribusi tekanan, intensitas turbulensi dan turbulence spectra.

Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa dengan penggunaan turbulen model $k - \epsilon$ Realizable menghasilkan yang terbaik dibandingkan turbulen model yang lain.

Kata Kunci: Aliran turbulen, studi numerik, distribusi tekanan, intensitas turbulensi dan turbulence spectra

Abstract

Turbulent flow is found in our daily life both in the industrial world, household and in nature. The quantities in the turbulent flow consist of average components and fluctuation components. In turbulent currents such as speed, density, temperature, enthalpy fluctuate. This magnitude fluctuation plays a very important role in the kinetic energy of the flow following the other quantities which are the derivation of the fluctuations.

Numerical studies have been performed to test aerodynamic performance on flat plates by using some turbulent models $k - \epsilon$ (Standard, Realizable, RNG). Freestream speed used is 10 m/s and in standard air condition. The parameters evaluated include pressure distribution, turbulence intensity and turbulence spectra.

From the research it is found that with the use of turbulent model $k - \epsilon$ Realizable produce the best compared to turbulent other model.

Keywords: *turbulent flow, numerical study, pressure distribution, turbulence intensity and turbulence spectra*

PENDAHULUAN

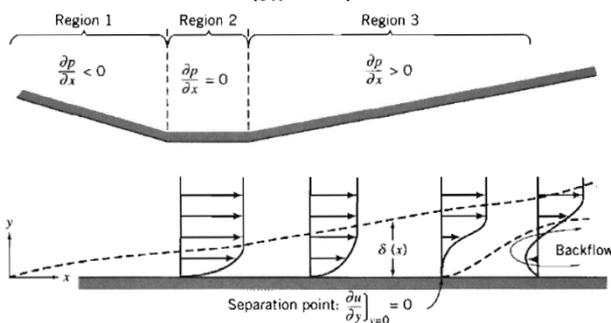
Suatu fluida yang melewati suatu kontur (baik datar maupun lengkung) akan membentuk suatu

lapisan batas. Lapisan batas tersebut terbentuk akibat gesekan yang terjadi antarpermukaan benda dengan fluida. Daerah yang paling besar pengaruh gesekannya terhadap fluida terjadi

pada permukaan benda, dimana pada daerah ini kecepatan fluida adalah nol. Semakin menjauh dari permukaan, gaya gesek ini akan semakin melemah hingga batas dimana pengaruh gaya gesek terhadap fluida tidak ada. Daerah dimana pengaruh gaya gesek terhadap fluida tidak ada disebut dengan daerah *freestream*.

Dengan adanya perubahan tekanan (*pressure gradient*) yang seiring dengan bertambahnya jarak maka akan berpengaruh pada kondisi *boundary layer*. Pada gambar 1 ditunjukkan bagaimana pengaruh *pressure gradient* terhadap kondisi *boundary layer*. Terdapat 3 daerah (*region*) *pressure gradient* sebagai berikut:

- *Region 1 (favorable pressure gradient)*, merupakan daerah terjadinya penurunan tekanan dikarenakan adanya pengecilan luas penampang yang berdampak pada peningkatan kecepatan fluida sehingga gradien tekanan yang terjadi negatif, ($\frac{\partial p}{\partial x} < 0$).
- *Region 2 (zero pressure gradient)*, merupakan daerah yang memiliki luas penampang yang konstan (*constant area*) sehingga gradien tekanan bernilai nol, ($\frac{\partial p}{\partial x} = 0$), namun tidak menyebabkan aliran fluida berhenti.
- *Region 3 (adverse pressure gradient)*, merupakan daerah terjadinya penurunan kecepatan karena membesarnya luas penampang sehingga akan terjadi peningkatan tekanan dan gradien tekanannya menjadi positif, ($\frac{\partial p}{\partial x} > 0$).



Gambar 1. Perkembangan *boundary layer* akibat pengaruh *pressure gradient*(Fox, et al, 2004)

Apabila ditinjau mengenai kondisi partikel fluida di dekat area *flat plate*, maka dapat dijelaskan bahwa terjadi akumulasi tegangan geser pada partikel tersebut. Akumulasi *shear stress* ini berlaku untuk semua *pressure gradient region*. Kondisi ini tidak berdampak banyak pada daerah *favorable pressure gradient (region 1)*, karena tekanan pada inlet *region* lebih besar daripada tekanan outlet maka aliran dapat mengalir dengan lancar dan mengalami peningkatan kecepatan. Dalam kondisi ini partikel fluida dapat dianalogikan sedang menuruni sebuah bukit yang curam, sehingga dengan mudahnya partikel fluida tersebut bergerak pada *region* ini. Pada *region 2* ($\frac{\partial p}{\partial x} = 0$), akumulasi tegangan geser tersebut berdampak pada penurunan momentum aliran sebagaimana tampak pada gambar 22. *Region 3* merupakan daerah yang paling tidak disukai oleh aliran, karena tekanan di inlet *region* lebih kecil daripada tekanan outlet *region*. Pada *region 3* partikel fluida seakan dipaksa untuk mendaki bukit yang curam. Aliran tidak memiliki cukup energi untuk melanjutkan perjalanan (defisit momentum) sehingga partikel fluida akan terdefleksi keluar dari *boundary* atau dapat dikatakan bahwa aliran mengalami separasi. Akibat tekanan outlet yang tinggi, maka terjadi aliran balik dari outlet menuju inlet *region* yang biasa disebut dengan peristiwa *backflow*.

Reynolds number memiliki pengaruh yang penting dalam proses terjadinya separasi. Semakin besar *Reynolds number*, maka aliran akan semakin turbulen. Profil aliran turbulen lebih uniform sehingga momentum aliran di dekat dinding lebih besar. Hal ini mengakibatkan aliran lebih tahan terhadap tegangan geser dan *adverse pressure gradient* sehingga separasi bisa tertunda.

Tidak seperti profil aliran laminar, profil aliran turbulen sangat dipengaruhi oleh kekasaran permukaan. Semakin kasar suatu permukaan, maka tegangan geser yang terjadi juga semakin besar. Karena adanya tegangan geser yang besar maka momentum aliran menjadi banyak berkurang sehingga tidak dapat lama menahan *adverse pressure gradient*, akibatnya aliran dalam *diffuser* menjadi lebih mudah atau cepat terseparasi.

Distribusi tekanan yang terjadi pada kontur benda bisa dinyatakan dalam bilangan tak berdimensi yang disebut koefisien tekanan. Koefisien tekanan (C_p) adalah selisih antara tekanan statis lokal dan tekanan statis *freestream* dibagi dengan tekanan dinamis.

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2}$$

dimana: p = tekanan statis lokal

p_∞ = tekanan statis *freestream*

U_∞ = kecepatan *freestream*.

Walaupun kebanyakan aliran real adalah aliran turbulen, namun aliran laminar melintasi pelat datar dapat digunakan sebagai bahan validasi dalam simulasi numerik. Solusi untuk laminar boundary layer pada pelat datar, tersedia baik secara analitis maupun empirik oleh Blasius (1908). Solusi ini dapat digunakan untuk memvalidasi software CFD. Sedangkan untuk *Turbulent Boundary Layer* tidak memiliki solusi eksak dan kebanyakan parameter solusi untuk aliran turbulen diperoleh dari hasil eksperimen. Secara umum, ketika fluida mengalir melewati sebuah benda selain plat datar, medan tekanan tidak seragam. Distribusi tekanan yang terjadi pada plat datar cenderung linear dan tidak bervariasi sebagaimana yang terjadi pada silinder.

Untuk aliran-aliran yang efek inersianya relatif besar terhadap efek viskos (yaitu aliran dengan bilangan *Reynolds* besar), perbedaan tekanan $p - p_\infty$ berbanding langsung dengan tekanan

dinamik $\frac{1}{2}\rho U_\infty^2$ dan koefisien tekanan tidak bergantung bilangan *Reynolds*. (Munson, 2009).

Intensitas turbulensi I adalah perbandingan antara akar rata-rata dari fluktuasi kecepatan u' terhadap kecepatan rata-rata u_{avg} . Intensitas turbulensi sebesar 1 % atau kurang dianggap rendah, sedangkan intensitas turbulensi sebesar 10 % atau lebih dianggap cukup besar. Idealnya untuk pengambilan data harus diberikan estimasi intensitas turbulensi yang baik pada *inlet boundary*. Simulasi yang dilakukan dengan sebuah *wind tunnel*, intensitas *freestream* sesuai dengan karakteristik *wind tunnel*. Pada simulasi CFD intensitas turbulensi pada inlet secara umum dapat diperkirakan dari beberapa contoh berikut:

- *High turbulence case*, yaitu aliran dengan kecepatan tinggi pada geometri yang kompleks seperti alat penukar kalor, turbin, dan kompresor. Intensitas turbulensi pada kasus ini antara 5% - 20%.
- *Medium turbulence case*, yaitu aliran yang melalui pipa besar atau aliran dengan Re rendah. Intensitas turbulensi pada kasus ini antara 1% - 5%
- *Low turbulence case*, yaitu aliran melintasi mobil, kapal dan pesawat. Intensitas turbulensi pada kasus ini dapat di bawah 1%. (Fluent Inc, 2005).

Struktur dan karakteristik turbulensi mungkin bervariasi dari situasi aliran ke situasi lainnya. Sebagai contoh, intensitas turbulensi semakin besar intensitas turbulensi maka semakin besar fluktuasi kecepatan dan parameter-parameter lainnya. Pada plat datar, fluktuasi intensitas turbulensi tidak terlalu tinggi namun perlahan-lahan meningkat sebagaimana terlihat pada gambar 2. Setelah melewati sisi inlet, intensitas turbulensi fluida perlahan mulai naik seiring dengan berkembangnya *boundary layer*. Semakin

mendekati sisi *outlet* pengaruh viskos dari *wall* yang perlahan-lahan meningkatkan pusaran (*eddy*) semakin nyata.

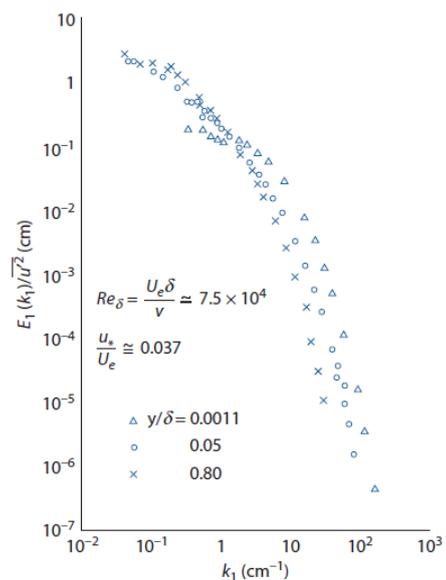
Salah satu karakter dari aliran turbulen adalah adanya fluktuasi sinyal kecepatan secara acak. Sinyal kecepatan yang berfluktuasi secara random tersebut bisa diinterpretasikan sebagai kumpulan dari beberapa sinyal dengan frekuensi dan amplitudo yang berbeda-beda. Karakter dari fluktuasi sinyal kecepatan sangat erat hubungannya dengan kandungan energi kinetik dari aliran turbulen tersebut. Secara umum, aliran turbulen memiliki fluktuasi kecepatan ke arah 3 dimensi, x, y, dan z dengan komponen fluktuasi kecepataannya masing-masing $u(t)$, $v(t)$ dan $w(t)$. Beberapa penulis, seperti **Schetz (1993)** mendefinisikan energi kinetik turbulen sebagai :

$$K = \frac{u^2(t)v^2(t)w^2(t)}{2}$$

Energi yang terkandung untuk harga frekuensi tertentu juga memiliki nilai tertentu pula. Oleh karenanya, sinyal fluktuasi kecepatan di dalam aliran turbulen memiliki kandungan turbulen, dalam hal ini energi kinetik turbulen, yang tersebar sesuai dengan frekuensi yang bisa terjadi di dalam aliran turbulen tersebut. Penjabaran kandungan energi kinetik turbulen ke dalam domain frekuensi yang berkaitan dinamakan spektrum dari energi kinetik turbulen (**Sutardi, 2012**).

Schetz (1993) menampilkan hasil penelitian **Klebanoff (1955)** bahwa rentang kandungan energi untuk beberapa lokasi di lapis batas turbulen juga berbeda. Semakin dekat dengan dinding maka kandungan energi kinetik maksimum semakin kecil dibandingkan lokasi yang jauh dari dinding. Semakin dekat dengan dinding maka potensi terbentuknya pusaran (*eddy*) yang lebih besar akan terhambat sehingga menurunkan nilai maksimum dari kandungan energi kinetik turbulen tersebut. (**Sutardi, 2012**).

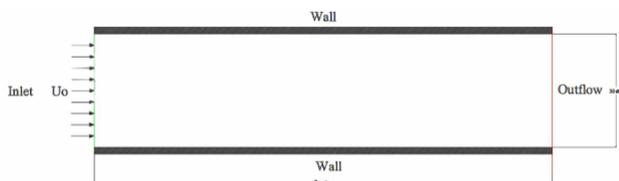
Aliran lapis batas turbulen merupakan fenomena aliran fluida yang sangat kompleks. Di dalamnya terkandung pusaran-pusaran aliran yang memiliki ukuran bervariasi. Di bagian luar, pusaran-pusaran aliran ini pada umumnya sebanding dengan ukuran tebal lapis batas turbulen itu sendiri. Sedangkan pada bagian yang sangat dekat dengan dinding, ukuran pusaran itu umumnya mengecil dengan bentuk yang berbeda-beda. Di dalam ukuran pusaran yang besar terdapat pula kumpulan pusaran-pusaran yang lebih kecil. Ukuran dari pusaran tersebut sangat erat kaitannya dengan gerak-gerakannya pada medan aliran turbulen. Rentang ukuran yang dimiliki oleh pusaran dan besaran dari kecepatan gerak dari pusaran-pusaran tersebut akan disebut sebagai spektrum dari aliran turbulen tersebut. Dengan mendapatkan pasokan energi dari aliran utama atau *mean flow* (**Tennekes dan Lumley, 1972**) maka akan menjaga keberlangsungan kondisi aliran turbulen.



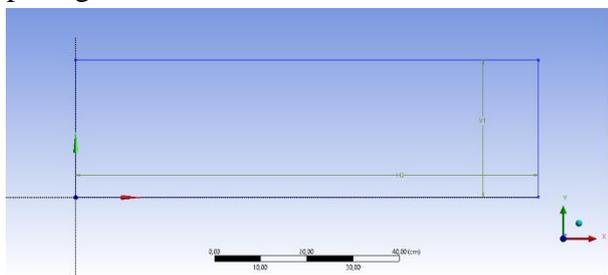
Gambar 2. Spektrum energi kinetik turbulen untuk komponen kecepatan searah longitudinal di dalam lapis batas turbulen di atas plat datar (Schetz, 1993)

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan simulasi numerik menggunakan software simulasi dengan model turbulen $k - \epsilon$ (Standard, Realizable, RNG). Kecepatan aliran *freestream* yang akan digunakan sebesar 10 m/s. Model benda uji berupa plat datar. Gambar 3. merupakan domain simulasi serta kondisi batas yang digunakan dalam simulasi.



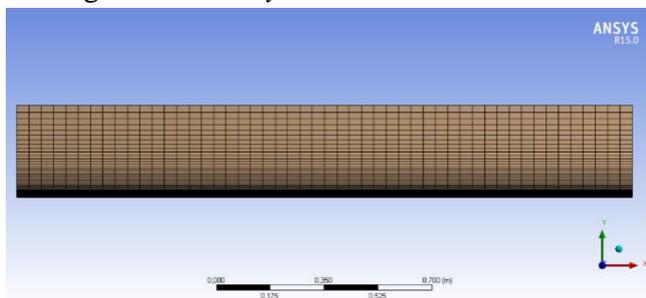
Gambar 3. Meshing dan domain pemodelan airfoil 2D
Dimensi pemodelan selanjutnya ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Dimensi Pemodelan

Pada aplikasi ditentukan analisis 2 dimensi : $H_2 = 200 \text{ cm}$ $V_1 = 30 \text{ cm}$

Setelah ditentukan *boundary condition*-nya maka selanjutnya *meshing* yang digunakan adalah *quadriateral* dan *edge sizing* di masing-masing sisi *boundary condition*.



Gambar 5. Meshing yang dihasilkan

Kondisi batas yang digunakan pada penelitian ini antara lain *inlet* : *velocity inlet*; *outlet* : *outflow*, *dinding* : *wall*. Aliran yang digunakan disini berupa aliran inkompresibel. *Velocity inlet* untuk mendefinisikan kecepatan aliran yang masuk. Kondisi batas *outflow*

dipilih karena data aliran saat kondisi keluar tidak diketahui. *Wall* didefinisikan sebagai dinding dari aliran fluida yang terdapat di dalam saluran untuk membatasi fluida yang melintas.

Dalam penggunaan software simulasi memerlukan keakuratan data baik pada langkah post processing maupun preprocessingnya. Langkah grid independensi diperlukan untuk menentukan tingkat serta struktur grid terbaik dan terefisien agar hasil pemodelan mendekati sebenarnya. Pada penelitian ini membandingkan juga beberapa kerapatan meshing sebagaimana tampak pada tabel 1.

Tabel 1. Penentuan meshing dan minimal inflation

No	Jumlah Node/Grid	Y^+	Minimal Inflation
1	4141	14	0.0005
2	6161	6.6	0.00025
3	8181	4	0.00015
4	19701	0.98	0.000035

Reynolds Number yang digunakan adalah $12,52 \times 10^5$ sehingga aliran sudah mencapai turbulen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Tekanan

Pada gambar 6 ditunjukkan kontur distribusi koefisien tekanan sedangkan pada gambar 7, gambar 8, dan gambar 9 ditampilkan perbandingan hasil simulasi koefisien tekanan sepanjang plat datar beberapa turbulence model dengan y^+ yang berbeda. Didapatkan bahwa semakin baik nilai y^+ maka akan mendapatkan hasil yang lebih baik. Semakin rapat meshing di sekitar wall akan meningkatkan sensitivitas simulasi ketika iterasi dilakukan. Dengan nilai $y^+ \leq 1$ akan mendapatkan hasil yang terbaik meskipun menggunakan turbulence model yang berbeda baik $k - \epsilon$ Standard, $k - \epsilon$ RNG maupun $k - \epsilon$ Realizable.

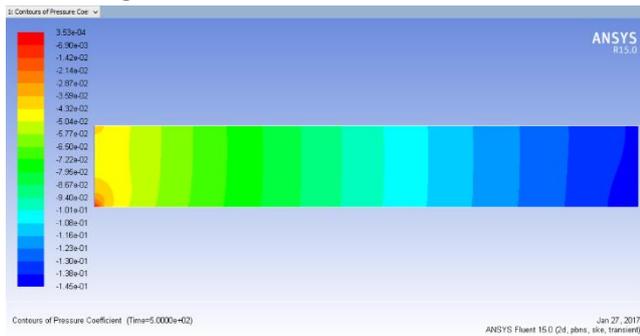
Pada gambar 10, gambar 11, dan gambar 12, dan gambar 13 ditampilkan

APPROACH

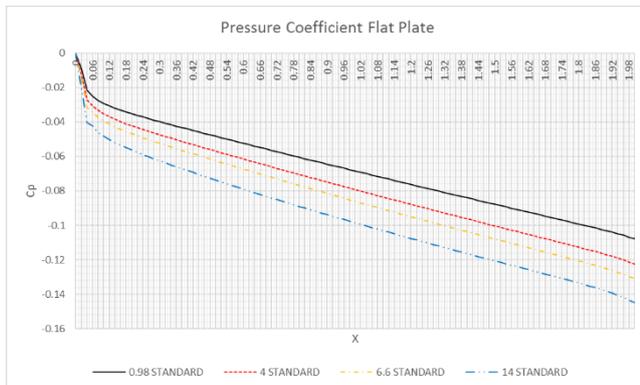
Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

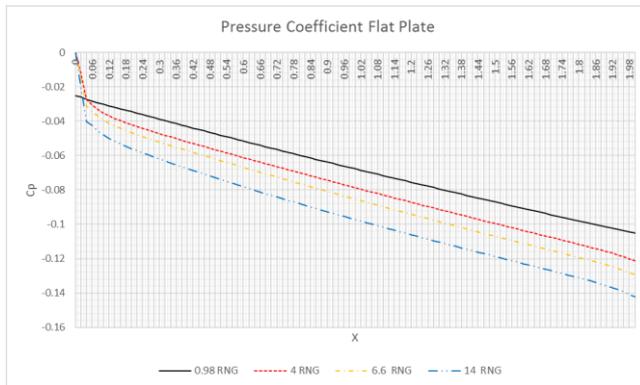
perbandingan hasil simulasi koefisien tekanan sepanjang plat datar dengan y^+ yang sama pada turbulence model yang berbeda. Didapatkan bahwa $k - \epsilon$ Realizable mendapatkan hasil yang lebih baik disusul $k - \epsilon RNG$ dan $k - \epsilon Standard$. $k - \epsilon$ Realizable mampu mengukur koefisien tekanan yang lebih sensitif dibandingkan $k - \epsilon RNG$ dan $k - \epsilon Standard$. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian **Mulvany (2004)** bahwa $k - \epsilon$ Realizable mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan $k - \epsilon RNG$ dan $k - \epsilon Standard$



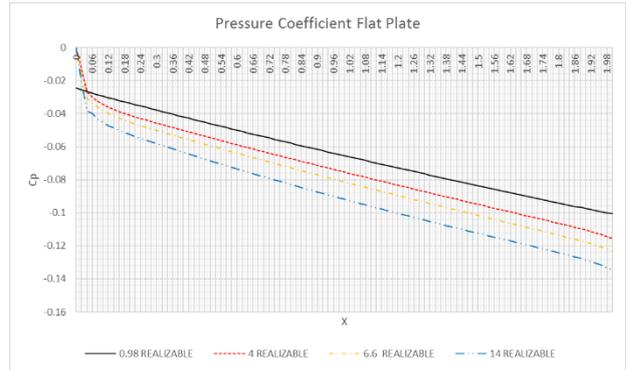
Gambar 6. Pressure Coefficient (Hasil Ansys Fluent 15)



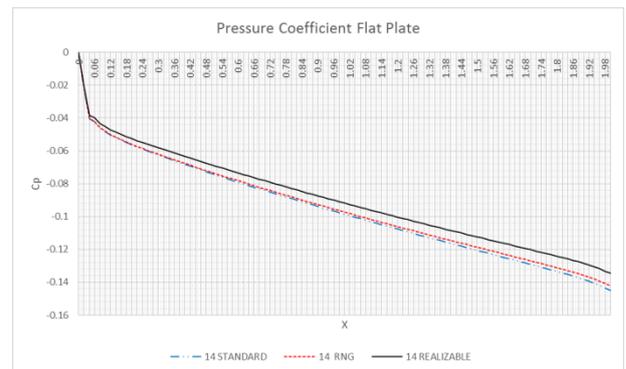
Gambar 7. Koefisien Tekanan pada flat plate hasil simulasi $k - \epsilon$ Standard dengan y^+ yang berbeda



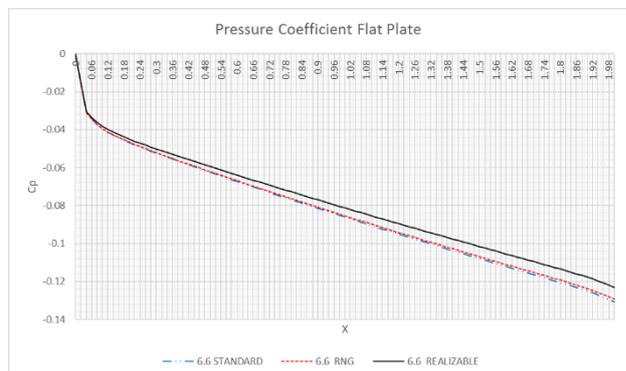
Gambar 8. Koefisien Tekanan pada flat plate hasil simulasi $k - \epsilon RNG$ dengan y^+ yang berbeda



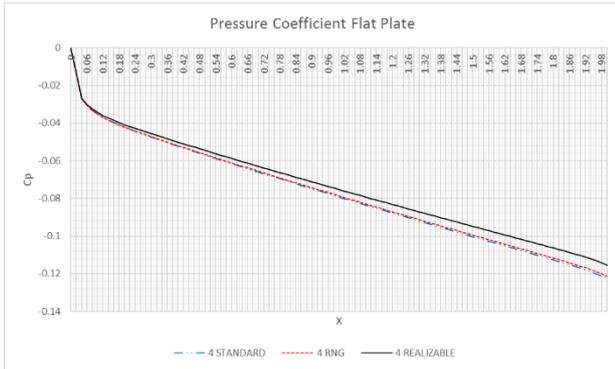
Gambar 9. Koefisien Tekanan pada flat plate hasil simulasi $k - \epsilon$ Realizable dengan y^+ yang berbeda



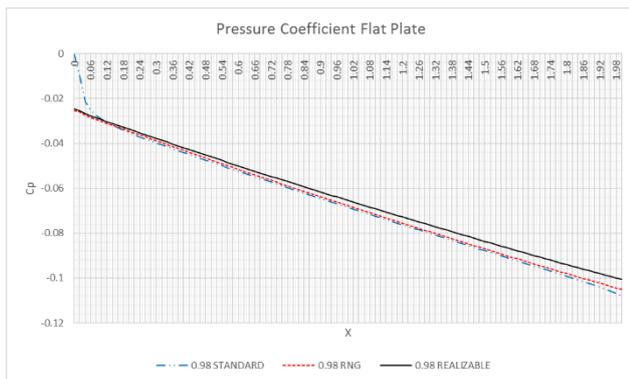
Gambar 10. Koefisien Tekanan pada flat plate hasil simulasi pada $y^+ \leq 30$ dengan turbulence model yang berbeda



Gambar 11. Koefisien Tekanan pada flat plate hasil simulasi pada $y^+ \leq 10$ dengan turbulence model yang berbeda



Gambar 12. Koefisien Tekanan pada flat plate hasil simulasi pada $y^+ \leq 5$ dengan turbulence model yang berbeda



Gambar 13. Koefisien Tekanan pada flat plate hasil simulasi pada $y^+ \leq 5$ dengan turbulence model yang berbeda

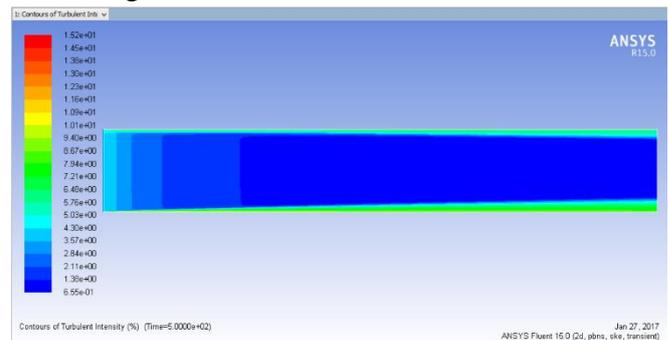
Intensitas Turbulensi

Struktur dan karakteristik turbulensi mungkin bervariasi dari situasi aliran ke situasi lainnya. Sebagai contoh, intensitas turbulensi semakin besar intensitas turbulensi maka semakin besar fluktuasi kecepatan dan parameter-parameter lainnya. Pada plat datar, fluktuasi intensitas turbulensi tidak terlalu tinggi namun perlahan-lahan meningkat sebagaimana terlihat pada gambar 14. Setelah melewati sisi inlet, intensitas turbulensi fluida perlahan mulai naik seiring dengan berkembangnya boundary layer. Semakin mendekati sisi outlet pengaruh viskos dari wall yang perlahan-lahan meningkatkan pusaran (eddy) semakin nyata.

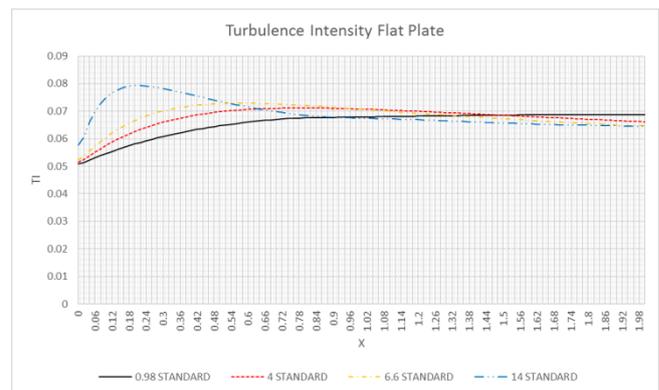
Pada gambar 15, gambar 16, dan gambar 17 ditampilkan perbandingan hasil simulasi intensitas turbulensi sepanjang plat datar beberapa turbulence model dengan y^+ yang

berbeda. Didapatkan bahwa semakin baik nilai y^+ maka akan mendapatkan hasil yang lebih baik. Semakin rapat meshing di sekitar wall akan meningkatkan sensitivitas simulasi ketika iterasi dilakukan. Dengan nilai $y^+ \leq 1$ akan mendapatkan hasil yang terbaik meskipun menggunakan turbulence model yang berbeda baik $k - \epsilon$ Standard, $k - \epsilon$ RNG maupun $k - \epsilon$ Realizable.

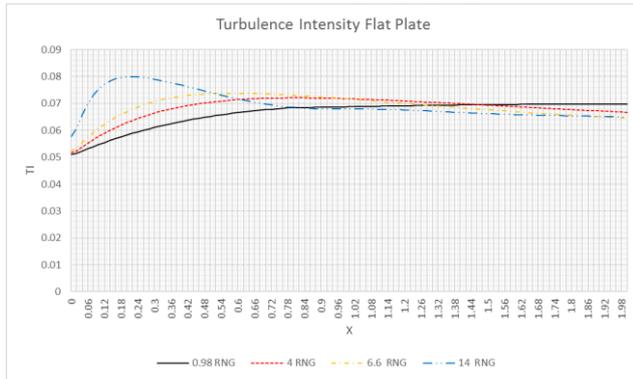
Pada gambar 18, gambar 19, gambar 20, dan gambar 21 ditampilkan perbandingan hasil simulasi intensitas turbulensi sepanjang plat datar dengan y^+ yang sama pada turbulence model yang berbeda. Didapatkan bahwa $k - \epsilon$ Realizable mendapatkan hasil yang lebih baik disusul $k - \epsilon$ RNG dan $k - \epsilon$ Standard. $k - \epsilon$ Realizable mampu mengukur intensitas turbulensi yang lebih sensitif dibandingkan $k - \epsilon$ RNG dan $k - \epsilon$ Standard. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Mulvany (2004) bahwa $k - \epsilon$ Realizable mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan $k - \epsilon$ RNG dan $k - \epsilon$ Standard.



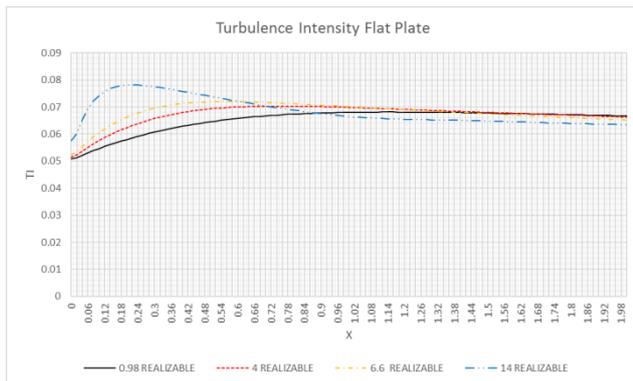
Gambar 14. Kontur Intensitas Turbulensi (Hasil Ansys Fluent 15)



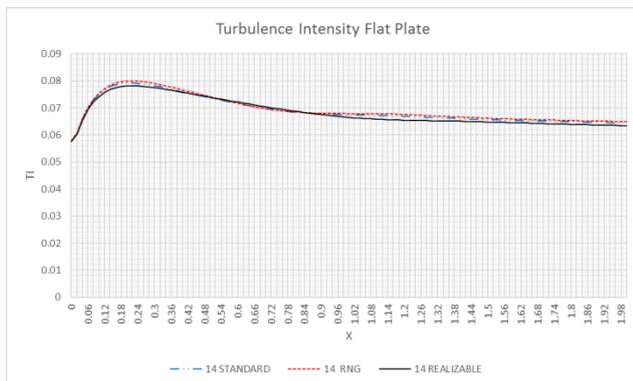
Gambar 15. Intensitas Turbulensi pada *flat plate* hasil simulasi $k - \epsilon$ Standard dengan y^+ yang berbeda



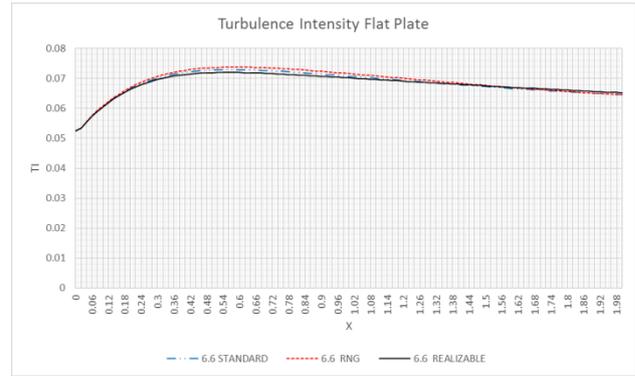
Gambar 16. Intensitas Turbulensi pada *flat plate* hasil simulasi $k - \epsilon$ RNG dengan y^+ yang berbeda



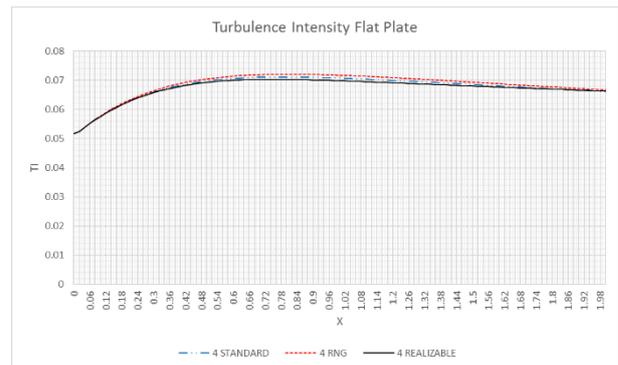
Gambar 17. Intensitas Turbulensi pada *flat plate* hasil simulasi $k - \epsilon$ Realizable dengan y^+ yang berbeda



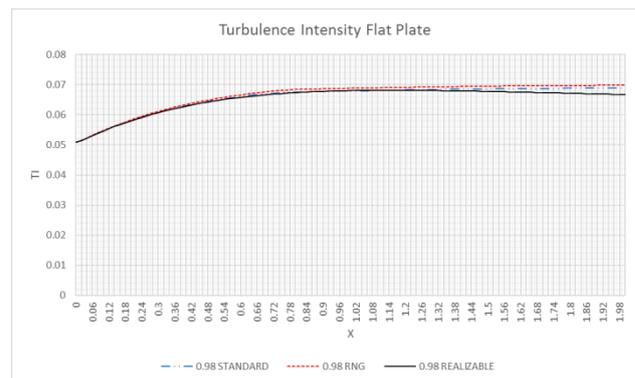
Gambar 18. Intensitas Turbulensi pada *flat plate* hasil simulasi pada $y^+ \leq 30$ dengan *turbulence model* yang berbeda



Gambar 19. Intensitas Turbulensi pada *flat plate* hasil simulasi pada $y^+ \leq 10$ dengan *turbulence model* yang berbeda



Gambar 20. Intensitas Turbulensi pada *flat plate* hasil simulasi pada $y^+ \leq 5$ dengan *turbulence model* yang berbeda



Gambar 21. Intensitas Turbulensi pada *flat plate* hasil simulasi pada $y^+ \leq 1$ dengan *turbulence model* yang berbeda

Turbulence Spectra

Pada penelitian ini, berkembangnya lapis batas diiringi dengan pasokan energi dari *mean flow* sehingga *turbulence kinetic energy* semakin meningkat sebagaimana terlihat pada gambar 22. Selanjutnya pada gambar 23, gambar 24, gambar 25, gambar 26, gambar 27, gambar 28 dan gambar 29 tampak bahwa

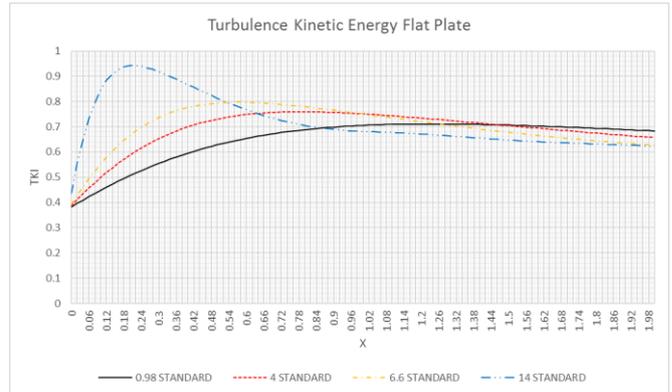
mendekati outlet, aliran mengalami sedikit kehilangan energi (energy losses) karena peningkatan efek viskos dari fluida yang semakin nyata. Sifat viskos ini menimbulkan tegangan geser yang terjadi antar lapisan aliran fluida.

Pada gambar 27, gambar 28, dan gambar 29 ditampilkan perbandingan hasil simulasi *turbulen kinetic energy* sepanjang plat datar beberapa *turbulence model* dengan y^+ yang berbeda. Didapatkan bahwa semakin baik nilai y^+ maka akan mendapatkan hasil yang lebih baik. Semakin rapat meshing di sekitar wall akan meningkatkan sensitivitas simulasi ketika iterasi dilakukan. Dengan nilai $y^+ \leq 1$ akan mendapatkan hasil yang terbaik meskipun menggunakan *turbulence model* yang berbeda baik $k - \epsilon$ Standard, $k - \epsilon$ RNG maupun $k - \epsilon$ Realizable.

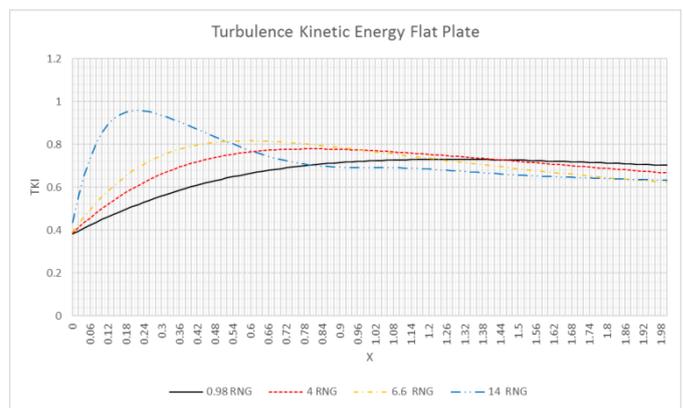
Pada gambar 33, gambar 34, gambar 35, dan gambar 36 ditampilkan perbandingan hasil simulasi *turbulen kinetic energy* sepanjang plat datar dengan y^+ yang sama pada *turbulence model* yang berbeda. Didapatkan bahwa $k - \epsilon$ Realizable mendapatkan hasil yang lebih baik disusul $k - \epsilon$ RNG dan $k - \epsilon$ Standard. $k - \epsilon$ Realizable mampu mengukur *turbulence kinetic energy* yang lebih sensitif dibandingkan $k - \epsilon$ RNG dan $k - \epsilon$ Standard. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian **Mulvany (2004)** bahwa $k - \epsilon$ Realizable mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan $k - \epsilon$ RNG dan $k - \epsilon$ Standard.



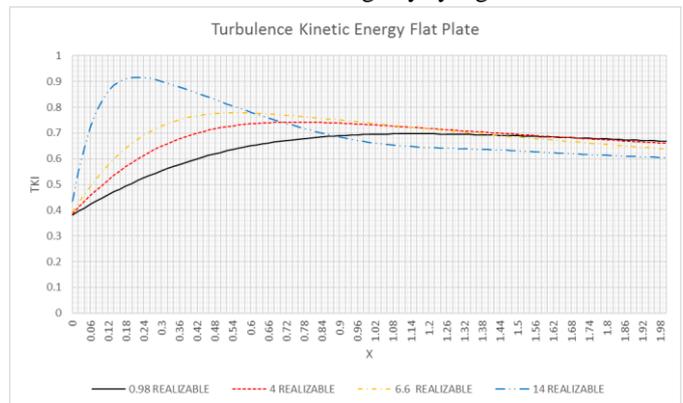
Gambar 22. Kontur *Turbulence Kinetic Energy* (Hasil *Ansyes Fluent 15*)



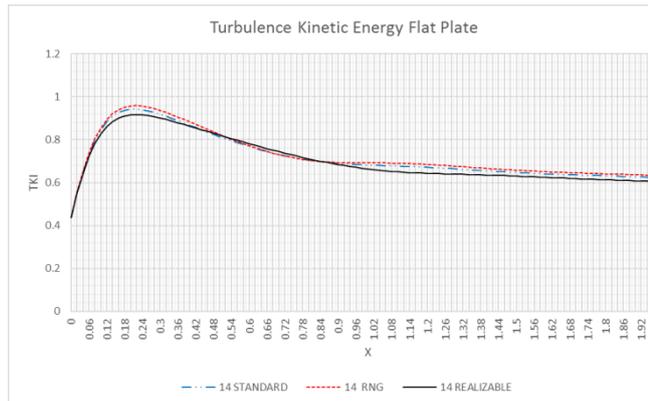
Gambar 23. *Turbulence Kinetic Energy* pada flat plate hasil simulasi $k - \epsilon$ Standard dengan y^+ yang berbeda



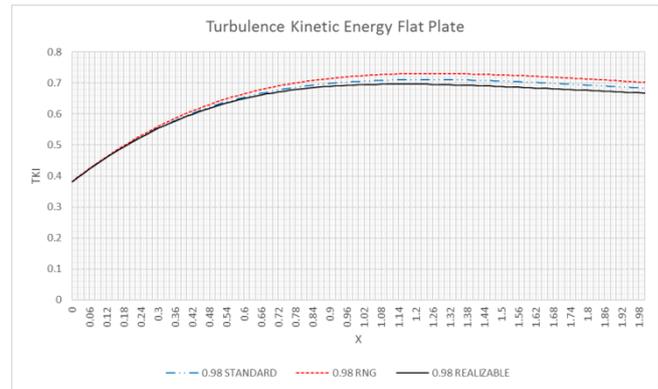
Gambar 24. *Turbulence Kinetic Energy* pada flat plate hasil simulasi $k - \epsilon$ RNG dengan y^+ yang berbeda



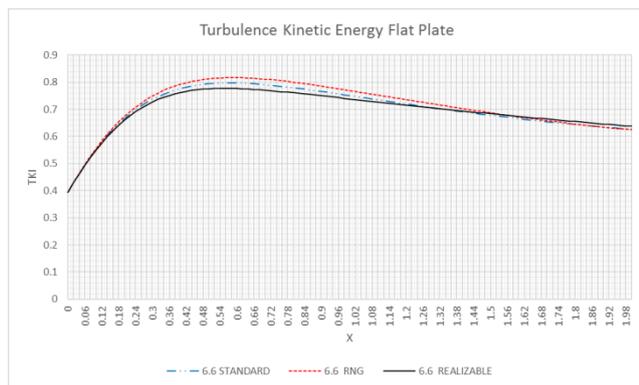
Gambar 25. *Turbulence Kinetic Energy* pada flat plate hasil simulasi $k - \epsilon$ Realizable dengan y^+ yang berbeda



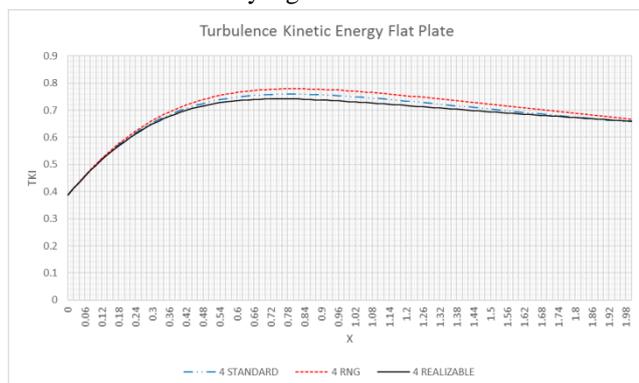
Gambar 26. *Turbulence Kinetic Energy* pada flat plate hasil simulasi pada $y^+ \leq 30$ dengan *turbulence model* yang berbeda



Gambar 29. *Turbulence Kinetic Energy* pada flat plate hasil simulasi pada $y^+ \leq 1$ dengan *turbulence model* yang berbeda



Gambar 27. *Turbulence Kinetic Energy* pada flat plate hasil simulasi pada $y^+ \leq 10$ dengan *turbulence model* yang berbeda



Gambar 28. *Turbulence Kinetic Energy* pada flat plate hasil simulasi pada $y^+ \leq 5$ dengan *turbulence model* yang berbeda

PENUTUP

Simpulan

Penggunaan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) telah dilaksanakan pada penelitian ini. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa $k - \epsilon$ Realizable mendapatkan hasil yang lebih baik disusul $k - \epsilon$ RNG dan $k - \epsilon$ Standard. $k - \epsilon$ Realizable mampu mengukur koefisien tekanan yang lebih sensitif dibandingkan $k - \epsilon$ RNG dan $k - \epsilon$ Standard. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian **Mulvany (2004)** bahwa $k - \epsilon$ Realizable mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan $k - \epsilon$ RNG dan $k - \epsilon$ Standard. Dari perbandingan y^+ yang berbeda didapatkan bahwa dengan semakin kecil y^+ maka ketelitian dari parameter yang diukur semakin baik.

Saran

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan penambahan obstacle tertentu misalnya bump dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. **Fox, Robert W., Mc Donald, Alan T., and Pritchard, Philip J. (2004),** *Introduction to Fluid Mechanics*, 6th edition, John Wiley and Sons, New York.

- [2]. **Khatri, Rajesh, Pankaj Agrawal, Mohan Gupta, Jitendra Verma(2012)**, *Laminar Flow Analysis Over A Flat Plate By Computational Fluid Dynamics*, International Journal of Advances in Engineering & Technology.
- [3]. **Mulvany, Nicholas J., Li Chen, Jiyuan Y. Tu, Brendon Anderson (2004)**, *Steady State Evaluation of Two Equation RANS Turbulence Models for High Reynolds Number Hydrodynamic Flow Simulations*, Final Report, Defence Science and Technology Organisation, Departement of Defence, Australian Government
- [4]. **Munson, Young, Okishi (2009)**, *Fundamentals of Fluid Mechanics 6th Edition*, John Wiley & Sons Inc.
- [5]. **Schetz, Joseph A., Rodney D.W. Bowersox (1993)**, *Boundary Layer Analysis 2nd Edition*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Reston, Virginia
- [6]. **Sutardi (2012)**, *Dasar-dasar Aliran Turbulen*, ITSPress
- [7]. **Tennekes, H, Lumley, J.L. (1972)**, *A First Course in Turbulence 1st Edition*, The MIT Press, Cambridge
- [8]. **White, Frank M. (2001)**. *Fluid Mechanics, 4th edition*. McGraw Hill, New York
Information Technology. Report number: 63. 2005.