

Studi Numerik Karakteristik Aliran Melalui *Backward Facing Inclined Step* dengan Penambahan Paparan Panas Deri Gedung pada Sisi *Upstream*

Franciska Enstinita Puspita dan Wawan Aries Widodo

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

e-mail: wawanaries@me.its.ac.id

Abstrak—Studi ini bertujuan untuk melihat karakteristik aliran fluida yang melalui *backward facing inclined step* dengan penambahan paparan panas dari *high rise building* pada sisi *upstream*. Peninjauan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Pemodelan ini menggunakan aliran *steady flow*, *incompressible flow*, dan *uniform flow* pada sisi inlet. Simulasi ini menggunakan model turbulen *k- ω SST* dengan kecepatan angin pada inlet 3 m/s dan 9 m/s ($Re=2 \times 10^4$ dan $Re=6 \times 10^4$). *Meshing* menggunakan *Hexahedral* dengan jumlah node $2,5 \times 10^6$. Variasi *inclined step* 30°, 45°, dan 90°. Kecepatan fluida panas dari gedung yaitu 1,5 m/s dengan temperatur 64° C. Angin lingkungan memiliki temperatur 27° C. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah variasi sudut *inclined step* mempengaruhi kecepatan fluida, panjang *reattachment*, dan luas wilayah yang mengalami kenaikan temperatur. Perbandingan kontur kecepatan memperlihatkan luas area *backflow* paling sempit berada pada *inclined step* 30°. Pada *pathline* tiap variasi *inclined step* diketahui bahwa *reattachment* paling pendek berada pada model dengan sudut *inclined step* 30°. Berdasarkan kontur pada posisi $y/h=0,5$ dan $y/h=1$ pada daerah *downstream*, persebaran temperatur paling sempit ada pada domain dengan sudut *inclined step* 30°. Selain itu variasi bilangan Reynolds juga berpengaruh terhadap persebaran temperatur. Semakin tinggi nilai bilangan Reynolds maka semakin kecil kenaikan temperatur lingkungan yang terjadi.

Kata Kunci—*high rise building*, *inclined step*, paparan panas, *velocity profile*, *temperature contour*.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA memiliki kekayaan budaya dan keindahan alam yang menarik bagi wisatawan. Perlu adanya dukungan terhadap daerah wisata berupa akses ke tempat wisata, transportasi, dan penginapan. Adanya pembangunan fasilitas tersebut mempengaruhi lingkungan sekitarnya, terutama pembangunan penginapan. Metode numerik untuk menganalisa hubungan antara pembangunan dan lingkungan merupakan alat untuk *engineer*, arsitek, perencanaan kota, dan kebijakan public untuk menggabungkan desain perkotaan alternatif dan untuk membuat kebijakan pedoman. CFD adalah salah satu alat dari metode numerik tersebut, yang sering digunakan pada iklim perkotaan dalam berbagai skala [1]. Pada simulasi angin lingkungan, biasanya menggunakan model turbulen. Terdapat lebih dari satu jenis model turbulen pada CFD. Dari 11 turbulen model, kontur dari turbulen model dengan grup yang sama memiliki hasil yang mirip [2].

Variasi dari simulasi dapat berupa bentuk *domain*. Dimana pada kenyataannya wilayah yang memiliki kondisi tanah yang rata hanya sebagian kecil. *Domain* dapat berupa *enlargement* yang memiliki *backward facing incined step*. Step dari *domain* pun memiliki sudut yang bervariasi. Semakin kecil sudut *inclined step* maka semakin pendek jarak titik *reattachment* dengan step [3]. Namun apabila sudut *inclined step* terlalu kecil maka panjng *reattachment* tidak dapat terukur pada eksperimen [3].

Hasil dari penelitian aliran fluida yang melewati *backward facing inclined step* dengan penambahan paparan panas dari gedung pada sisi *upstream* adalah mendapatkan data pendukung yaitu data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif berupa grafik distribusi koefisien tekanan (C_p), *skin friction coefficient* (C_f), dan jarak *reattachment* pada daerah *downstream*. Data kualitatif (visualisasi aliran) antara lain berupa kontur kecepatan, kontur tekanan, dan *pathline* dari vektor kecepatan.

II. PENELITIAN

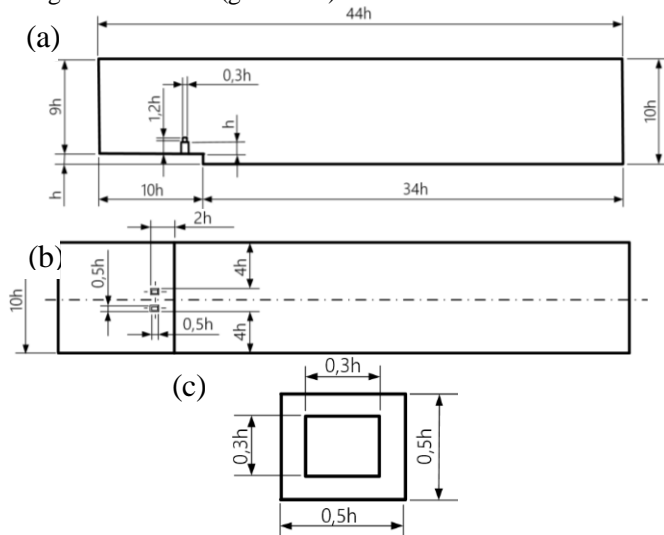
A. Urban Microclimate

Urban Microclimate semakin populer terutama di negara-negara maju sebab urbanisasi yang cepat. Beberapa dokumentasi studi *Urban Microclimate* membahas tentang konsumsi energi gedung, kondisi kesehatan dan kualitas hidup manusia, tingkat harapan hidup, dan temperatur yang nyaman untuk hidup. Sebagian besar penelitian *urban microclimate*, baik eksperimen maupun simulasi, dilakukan pada bidang datar. Hal ini dikarenakan fokus pada penelitian adalah perkotaan dimana sebagian besar wilayahnya datar. Namun sekarang pembangunan telah sampai ke berbagai wilayah. Termasuk pedesaan maupun pinggiran kota. Pemandangan yang masih alami menjadikan bangunan modern memiliki nilai jual tersendiri. Selain itu, pembangunan dilakukan pada daerah yang lebih tinggi dari sekitarnya. Hal ini akan membuat para penghuni mendapatkan pemandangan terbaik apabila bangunan berada lebih tinggi dari sekitarnya. Tidak menutup kemungkinan bahwa daerah di bawah bangunan tersebut akan semakin padat. Maka itu diperlukan penelitian *urban microclimate* dan CFD hadir untuk membantu memberikan simulasi pada permasalahan *urban microclimate*.

B. Geometri Benda Uji

Penelitian secara numerik ini dilakukan dengan menyimulasikan model (gambar 1) dengan *backward facing*

inclined step dengan penambahan gedung pada bagian *upstream*. Referensi $y/h=0$ berada pada sisi *inlet* yang sejajar dengan *wall* bawah (gambar 3).



Gambar 1. Permodelan *domain backward facing inclined step* (a) tampak samping; (b) tampak atas; dan (c) dimensi kondensor (bawah).

Spesifikasi dari *domain* adalah sebagai berikut:

- Tinggi Step = h
- Panjang sisi *upstream* = $10h$
- Panjang sisi *downstream* = $34h$
- Tinggi *inlet* = $9h$
- Tinggi *outlet* = $10h$
- Lebar geometri penampang = $10h$

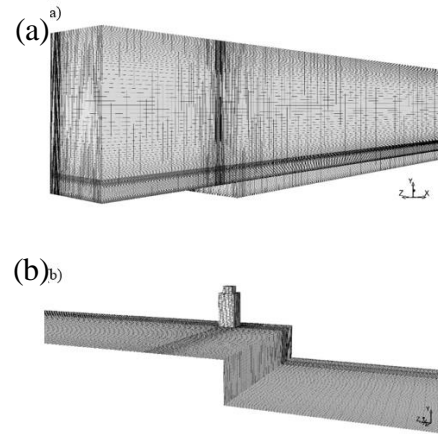
Dimensi Gedung dan kondensor

- Tinggi gedung = h
- Lebar gedung = $0.5h$
- Panjang gedung = $0.5h$
- Tinggi area kondensor = $0.2h$
- Lebar area kondensor = $0.3h$
- Panjang area kondensor = $0.3h$

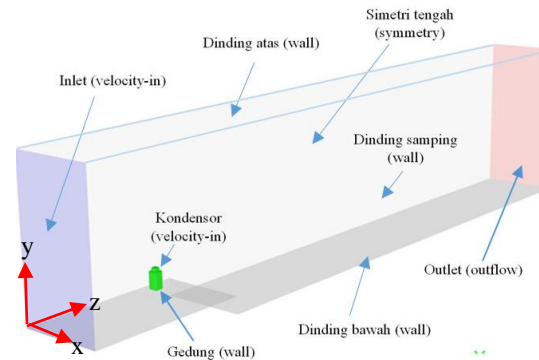
Variasi yang akan dibuat pada model adalah sudut *backward inclined step* (α), yaitu: 30° , 45° , dan 90° . Kemudian dilakukan pula variasi kecepatan *inlet*, yaitu 3 m/s ($Re=2 \times 10^4$) dan 9 m/s ($Re=6 \times 10^4$).

C. Metode Numerik

Penelitian ini adalah dengan mensimulasikan proses fluida melewati *domain* sehingga dari penelitian ini dapat diketahui kecepatan fluida dan kenaikan temperatur pada bagian *downstream*. Penyimulasian pada penelitian ini memanfaatkan komputasi fluida (CFD) untuk melakukan pendekatan secara numerik dan membuat geometri model. Pada pemodelannya, model dibuat sedemikian rupa hingga menjadi seperti geometri pada gambar 2 serta mendiskritisasikan model (*meshing*) yang rapat pada dinding sehingga model dapat diproses dengan CFD. Secara umum, urutan kerja yang dilakukan pada penelitian numerik ada dua tahapan, yaitu tahap *pre-processing* dan dilanjutkan dengan tahap *post-processing*.



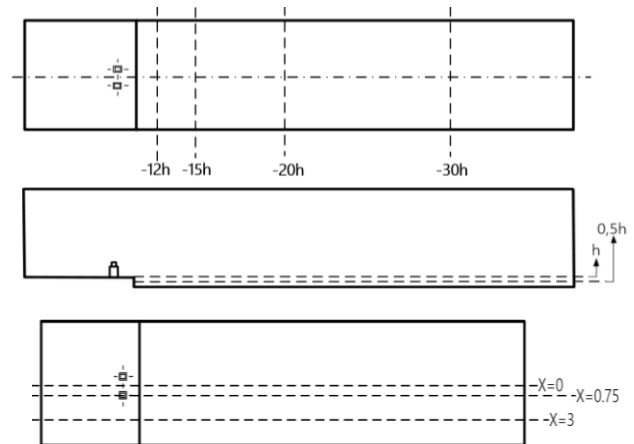
Gambar 2. Tahap *Pre-processing* (a) rapat dekat *wall*, (b) rapat dekat gedung.



Gambar 3. Boundary Condition.

D. Pengambilan Data

Pengambilan hasil setelah dilakukan iterasi. Hasil tersebut berupa data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berupa distribusi nilai kecepatan, temperatur, C_p dan C_f . Data kualitatif berupa penampilan *pathline velocity profile*, kontur kecepatan, dan kontur temperatur serta variasi-variasi yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4. Posisi pengambilan data (a) kecepatan dan temperatur; (b) temperatur; (c) C_p , C_f , jarak reattachment, kecepatan, dan temperatur.

Selain itu, untuk menunjang data kualitatif kontur kecepatan dan kontur temperatur diperlukan data kuantitatif. Data kuantitatif dipresentasikan dalam bentuk grafik. Adapun pengambilan grafik kecepatan ditampilkan pada Gambar 5c pada posisi $x/h=0,75$ (melewati gedung) dan sudut *inclined step* 30° ($Re=2 \times 10^4$). Data grafik kecepatan diambil dari posisi $y/h=0$ sampai $y/h=2,2$ di titik $z/h=-12$,

-15, -20, dan -30. Pengambilan data grafik distribusi temperatur ditampilkan pada Gambar 4b. Pada Cp dan Cf diambil pada wall bawah sepanjang downstream seperti ditunjukkan pada Gambar 4c. Sedangkan kontur kecepatan diambil pada posisi gambar 4a dan 4c. Kontur temperatur diambil pada semua posisi pada gambar 4. Pathline kecepatan diambil pada posisi gambar 4c.

E. Grid Independency

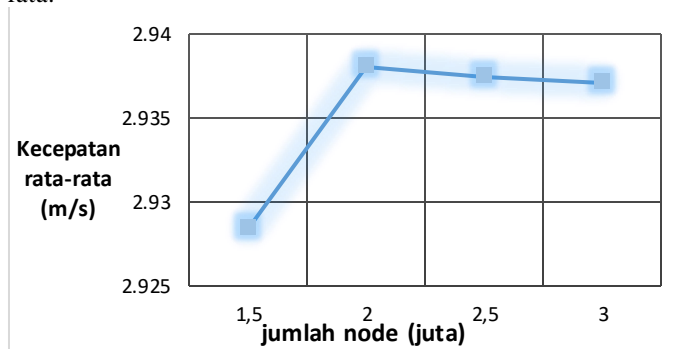
Analisa *grid independency* menggunakan model turbulen dengan menganalisa kecepatan rata-rata (*Vavg*) untuk setiap variasi *mesh* yang dibuat pada posisi $z/h=-8$ dengan sudut *inclined step* 90° , sehingga dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1.

Grid independency ditinjau dari kecepatan rata-rata pada *cross section* $z/h=-8$.

Mesh	Jumlah node (juta)	Kecepatan rata-rata (m/s)	Error (%)
Mesh A	1,5	2,9284	-
Mesh B	2	2,9381	1,04
Mesh C	2,5	2,9376	0,05
Mesh D	3	2,9370	0,06

Dari hasil *grid independency* yang telah dilakukan diperoleh variasi kerapatan *mesh* yang tidak terdapat perubahan secara signifikan yaitu pada variasi *mesh* tiga dengan jumlah *mesh nodes* sebesar 2,5 juta nodes. Selain itu, untuk memperjelas hasil dari *grid independency* dibuatlah suatu grafik yang menunjukkan hubungan antara jumlah node dan kecepatan rata-rata.

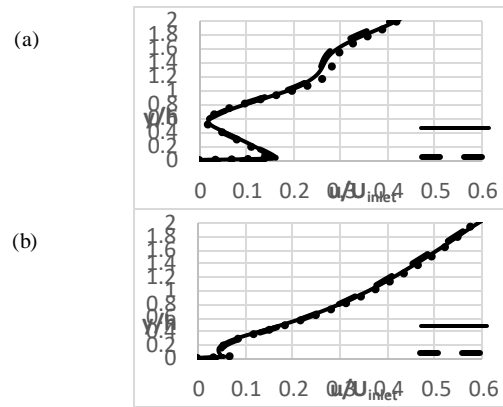


Gambar 5. Grid independency kecepatan ditinjau pada $z/h=-8$.

III. HASIL DAN DISKUSI

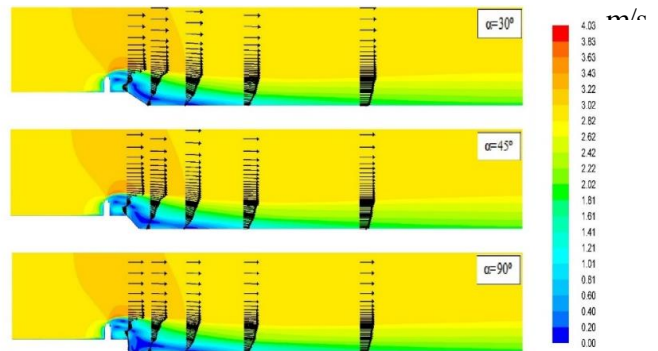
A. Variasi Sudut Backward Facing Inclined Step

Distribusi kecepatan aliran fluida yang melewati gedung dengan variasi sudut *inclined step* memiliki grafik yang sama. Gambar garfik 6 yang diambil dari beberapa titik pada daerah *downstream* memperlihatkan bentuk grafik yang sama. Grafik pada $z/h=-12$ terlihat penurunan kecepatan akibat adanya *backflow* kemudian kecepatan berangsur-angsur normal. Apabila data diambil lebih jauh dari step, pada titik $z/h=-15$, maka akan terlihat pengaruh *backflow* tidak sebesar pada titik $z/h=-12$.



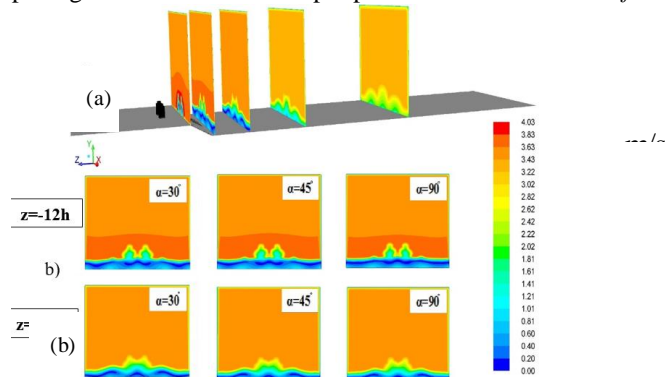
Gambar 6. Perbandingan profil kecepatan (u/U_{inlet}) dengan variasi sudut *inclined step* pada posisi $x=0,75$ ($Re=2 \times 10^4$); (a) $z/h=-12$; (b) $z/h=-15$.

Gambar 7 memperlihatkan perubahan warna yang mewakili perubahan kecepatan. Nilai kecepatan dari setiap warna dapat dilihat pada skala warna. Warna biru pada kontur mengindikasikan adanya *backflow*.



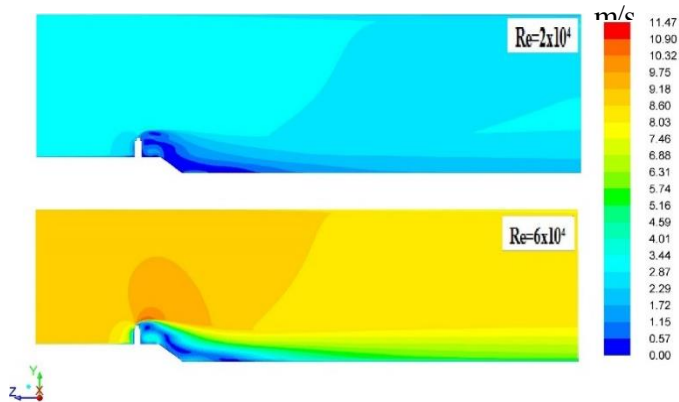
Gambar 7. Visualisasi kontur kecepatan dengan variasi sudut *inclined step* pada posisi $x=0,75$ ($Re=2 \times 10^4$).

Perbandingan kecepatan setiap variasi step juga dapat dilihat pada gambar 8 dimana terdapat perbedaan luas area *backflow*.



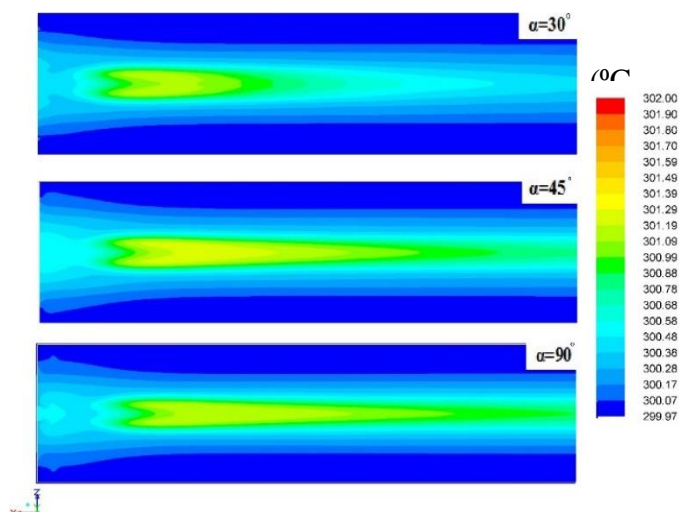
Gambar 8. (a) Visualisasi aliran 3d kontur velocity magnitude dengan sudut *inclined step* 30° dan (b) Perbandingan velocity magnitude pada $z=-12h$ dan $z=-15h$ ($Re=2 \times 10^4$).

Pada gambar 9, perbandingan kontur kecepatan pada variasi bilangan Reylonds memiliki hasil yang sama. *Domain* dengan step $\alpha=30^\circ$ memiliki area *backflow* yang lebih sempit dari pada *domain* dengan sudut step lainnya.

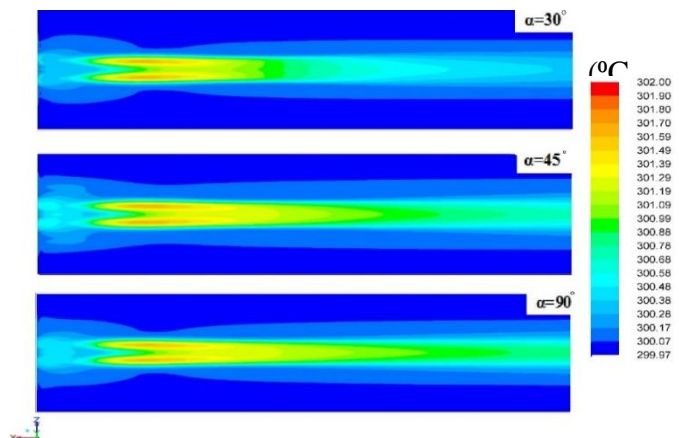


Gambar 9. Perbandingan profil kecepatan dengan variasi Reynolds number pada posisi $x=0,75$ ($\alpha=30^\circ$).

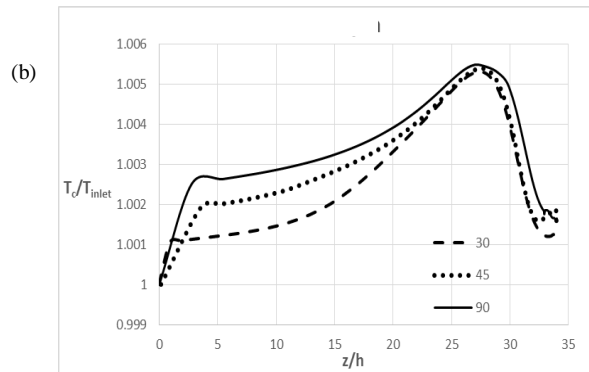
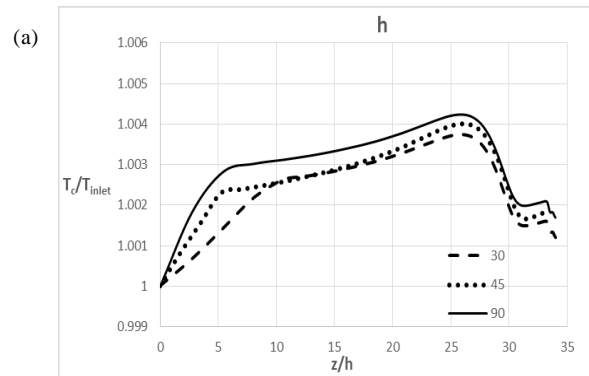
Variasi sudut *inclined step* juga berpengaruh terhadap jangkauan kenaikan temperatur akibat paparan panas dari gedung. Jangkauan kenaikan temperatur terjauh ada pada domain dengan $\alpha=90^\circ$. Hal tersebut terlihat pada gambar 10 dan 11. Gambar 10 dan 11 merupakan kontur temperatur pada daerah *downstream*. Gambar 12 adalah grafik perbandingan temperatur lokal dengan temperatur inlet pada daerah *downstream*.



Gambar 10. Kontur temperatur pada posisi $y/h=0,5$ ($Re=2 \times 10^4$).



Gambar 11. Kontur temperatur pada posisi $y/h=1$ ($Re=2 \times 10^4$).

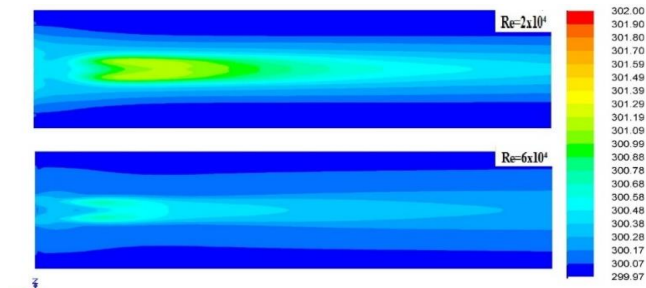


Gambar 12. Grafik distribusi temperatur sepanjang z/h pada $x=0,75$ ($Re=2 \times 10^4$); (a) $y/h=0,5$; (b) $y/h=1$.

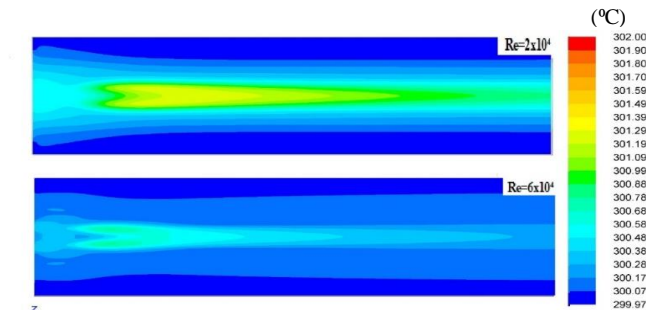
Gambar kontur diambil pada plane $y/h=0,5$ dan $y/h=1$ atau setinggi step. Pada Gambar 10 terlihat jelas adanya peningkatan temperatur di sepanjang sumbu z sampai di *outline*. Pada $\alpha=30^\circ$ terlihat bahwa kenaikan temperatur bisa mencapai $1,18^\circ C$. Namun area pada temperatur ini lebih sempit dari pada sudut step yang lain. Jangkauan kenaikan temperatur terjauh berada pada *downstream* dengan $\alpha=90^\circ$. Gambar 11, jika ketinggian plane kemudian dinaikan menjadi sejajar dengan step maka akan didapatkan gambaran yang serupa. Dimana area kenaikan temperatur tertinggi, yaitu sekitar $1,64^\circ C$, paling luas berada pada domain yang memiliki sudut *inclined step* 90° . Dari gambar 12 menunjukkan perbandingan kenaikan temperatur lokal terhadap temperatur inlet mencapai $1,0042$ ($y/h=0,5$) dan $1,0055$ ($y/h=1$).

Area terjauh yang mengalami kenaikan temperatur berada pada $\alpha=90^\circ$ sedangkan area tersepit berada pada $\alpha=30^\circ$. Hal ini karena fluida panas dari gedung terjebak pada *wake* akibat adanya *englagement*. Pada domain $\alpha=90^\circ$ memiliki *wake* yang lebih luas areanya sehingga fluida panas dari gedung lebih lama terjebak pada daerah *downstream*. Sedangkan pada domain $\alpha=30^\circ$ memiliki *wake* yang lebih sempit sehingga fluida panas yang terjebak juga lebih sedikit. Hal ini membuat area kenaikan temperatur tidak begitu luas dari pada domain lainnya.

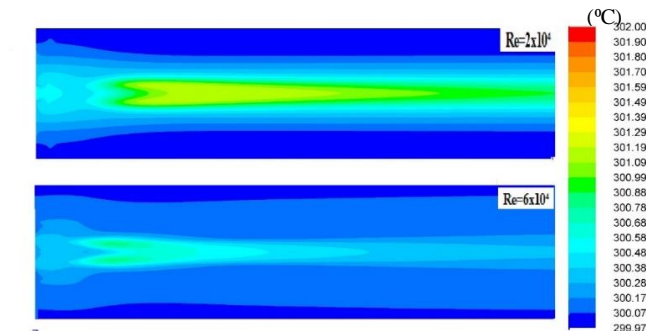
Pada profil temperatur, perbedaan kecepatan aliran fluida mempengaruhi transfer panas ke lingkungan sekitarnya. Secara teori, semakin kencang laju aliran fluida maka semakin dingin temperatur lingkungan sebab tidak terjadi penumpukan panas pada daerah *downstream*.



Gambar 13. Perbandingan visualisasi kontur temperatur dengan variasi Reynolds number pada posisi $y/h=1$ dan $\alpha=30^\circ$.



Gambar 14. Perbandingan visualisasi kontur temperatur dengan variasi Reynolds number pada posisi $y/h=1$ dan $\alpha=45^\circ$.

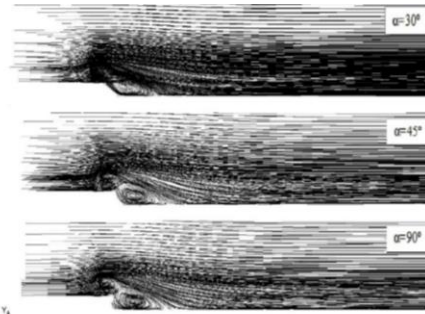


Gambar 15. Perbandingan visualisasi kontur temperatur dengan variasi Reynolds number pada posisi $y/h=1$ dan $\alpha=90^\circ$.

Gambar diambil pada plane $y/h=0,5$. Pada Gambar 13 terlihat adanya peningkatan temperatur di sepanjang sumbu z hingga di outline. Pada $\alpha=30^\circ$ terlihat bahwa kenaikan temperatur bisa mencapai $1,19^\circ\text{C}$. Sedangkan pada sudut lainnya, gambar 14 dan 15, kenaikan temperatur bisa mencapai $1,3^\circ\text{C}$. Kemudian juga untuk area terjadinya kenaikan temperatur, area tersempit berada pada model dengan sudut $\alpha=30^\circ$. Semakin curam sudut *inclined step* maka semakin jauh dan luas area yang mengalami kenaikan temperatur.

B. Panjang Reattachment

Setelah dilakukan simulasi akan didapatkan gambaran mengenai pola aliran separasi yang jarak titik *reattachment* dengan step dapat diperkirakan dengan melihat vector lapis batas. Gambar 16 merupakan gambaran *resirkulasi* apabila terdapat penghalang aliran berupa gedung. Karena adanya penghalang di bagian *upstream* membuat aliran fluida terganggu dan menciptakan ruang yang lebih besar untuk terjadinya separasi sehingga titik separasi menjadi lebih dekat dari step.



Gambar 16. Resirkulasi aliran dengan variasi sudut *inclined step* pada posisi $x=0,75$ ($Re=6 \times 10^4$).

Gambar 16 diambil pada $x=0,75$ atau saat aliran melewati tengah gedung. Selanjutnya panjang *reattachment* dapat terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan panjang *reattachment* pada $Re=6 \times 10^4$.

Variasi α	Variasi z/h		
	X=0	X=0,75	X=3
30°	5,762	4,534	5,1
45°	6,504	5,321	5,667
90°	6,854	6,05	6,206

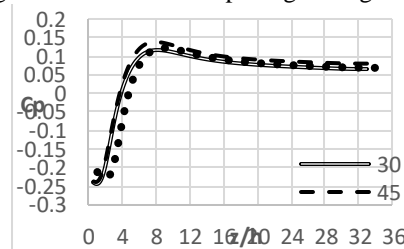
Perbedaan panjang *reattachment* dikarenakan step $\alpha=30^\circ$ memiliki ruang kosong yang lebih sempit dari pada step $\alpha=45^\circ$ dan step $\alpha=90^\circ$ sehingga ruang untuk terjadinya *wake*-pun lebih sempit. Hal ini juga terjadi pada aliran dengan $Re=2 \times 10^4$ yang memiliki pola yang mirip. Perbedaan hanya terdapat pada panjang *reattachment* yang ditampilkan pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan panjang *reattachment* pada $Re=2 \times 10^4$.

Variasi α	Variasi z/h		
	X=0	X=0,75	X=3
30°	5,186	4,459	10,7
45°	5,67	5,01	10,8
90°	6,157	6,206	10,9

C. Coefficient of Pressure (C_p)

Coefficient of Pressure (C_p) merupakan salah satu bilangan nondimensional yang dapat mempresentasikan seberapa besar fluida menghasilkan tekanan tanpa tergantung kecepatan fluida.



Gambar 17. Perbandingan grafik C_f darah *downstream* dengan variasi sudut *inclined step* pada $x/h=0,75$ ($Re=2 \times 10^4$).

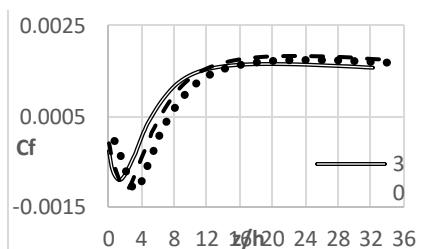
Dari Gambar 17 terlihat bentuk grafik yang sama. Pada posisi $x/h=0,75$, aliran fluida dari ketiga model pada mulanya akan mengalami percepatan yang ditandai dengan penurunan grafik akibat *favorable pressure gradient*. Setelah itu mengalami perlambatan yang ditandai dengan kenaikan sangat tajam diakibatkan oleh aliran yang tidak mampu melawan *adverse pressure gradient* pada saat penampang mengembang dengan tiba-tiba sehingga aliran terseparasi. Separasi akan berangsur normal dan akhirnya akan hilang, ini disebabkan karena adanya

transfer energi antara aliran yang berada di daerah yang tidak terseparasi menuju aliran yang berada di daerah terseparasi sehingga aliran yang terseparasi akan berangsur-angsur kembali normal. Pengambilan data diambil pada bagian *downstream area* dan terletak berhimpit pada dinding bawah. Karena nilai C_p tidak bergantung terhadap ukuran maupun kecepatan fluida maka hasil pengambilan data pada $Re=6 \times 10^4$ akan menghasilkan grafik C_p yang sama persis dengan grafik $Re=2 \times 10^4$. Hal tersebut dikarenakan kedua variasi kecepatan menggunakan bentuk *domain* yang sama.

Dari grafik terlihat bahwa adanya variasi sudut *inclined step* berpengaruh terhadap tekanan statis. Dari ketiga variasi sudut step terlihat bahwa model yang memiliki $\alpha=30^\circ$ dan $\alpha=45^\circ$ memiliki grafik yang nyaris berhimpitan. Setelah terjadi percepatan, *domain* dengan $\alpha=30^\circ$ dan $\alpha=45^\circ$ memiliki percepatan yang lebih tinggi dari pada $\alpha=90^\circ$. Hal ini karena kemiringan step membuat lintasan lebih sempit sehingga nilai C_p lebih rendah dan terjadi percepatan yang lebih tinggi.

D. Coefficient of Friction (C_f)

Sama seperti *coefficient of pressure* (C_p), *coefficient of friction* (C_f) merupakan parameter nondimensional. Dengan kata lain besarnya C_f tidak terpengaruh oleh kecepatan fluida. Besarnya *skin friction coefficient* (C_f) erat kaitannya dengan besarnya tegangan geser dinding (τ_w). Geometri *backward facing step* identik dengan perubahan penampang yang melebar sehingga aliran yang mengalir didalamnya akan memperoleh pengaruh dari *adverse pressure gradient* yang besar.



Gambar 18. Perbandingan grafik C_f daerah *downstream* dengan variasi sudut *inclined step* pada $x/h=0,75$ ($Re=2 \times 10^4$).

Turunnya nilai C_f dimulai dari nol mengindikasikan terjadinya separasi aliran yang dipengaruhi *adverse pressure*

gradient sehingga terjadi penebalan *boundary layer*, akibatnya aliran didekat *diverging wall* akan mengalami defisit momentum sehingga terjadi separasi. Kemudian berangsur-angsur kecepatan aliran kembali normal diikuti oleh kenaikan nilai C_f . Gambar 18 menunjukkan grafik C_p pada daerah *downstream* yang diukur dari step hingga ke *outlet*. Dari grafik C_f didapatkan bahwa nilai panjang reattachment yang paling kecil berada di plane $x=0$ dengan nilainya adalah 4 pada sudut $\alpha=30^\circ$ dan nilai reattachment yang paling besar yaitu pada jarak sudut $\alpha=90^\circ$ dengan nilainya adalah 6,5.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan berbagai analisa, kecepatan, temperatur, *Reattachment*, C_p , dan C_f , setiap variasi *inclined step* memiliki pengaruh yang berbeda. Grafik dan kontur kecepatan memperlihatkan semakin sempit sudut *inclined step* maka semakin sempit pula area terjadi *backflow* pada daerah *downstream*. Grafik dan kontur temperatur memperlihatkan, baik $Re=2 \times 10^4$ maupun $Re=6 \times 10^4$, pada step $\alpha=90^\circ$ terjadi kenaikan temperatur yang spesifik hingga mencapai *outlet*. Hal ini karena area *wake* yang lebih luas dan lambatnya kecepatan fluida sehingga penumpukan fluida panas yang juga lebih banyak pada daerah *downstream*. Mempertimbangkan hasil simulasi, pembangunan pada daerah *downstream* sebaiknya dilakukan pada daerah yang memiliki sudut *inclined step* kecil atau landai. Pembangunan juga bisa dilakukan tidak berada tepat dibawah bangunan yang mengeluarkan fluida dengan temperatur tinggi. Selain itu, simulasi dengan variasi jarak gedung pada sisi *upstream* dengan step atau jarak antar gedung diperlukan untuk mendapat gambaran fenomena pada kondisi yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Toparlak and et al, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Netherlands: Eindhoven University of Technology, 2017.
- [2] L. Biao, "Evaluation of CFD Simulation Using Various Turbulence Models for Wind Pressure on Buildings Based on Wind Tunnel Experiments," China, 2015.
- [3] P. Louda, "Numerical Simulation of Flows Over 2D and 3D Backward-Facing Inclined Steps," Czech Republic, 2013.