

## Computational Analysis of Fluid Flows Crossing Square Cylinder Dimpled Half Ball

Nasaruddin Salam<sup>1,\*</sup>, Rustan Tarakka<sup>2</sup>, Jalaluddin<sup>3</sup> dan Andi Machfud<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin - Makassar

<sup>4</sup>Prodi Magister, Departemen Teknik Mesin, , Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin - Makassar

\*Corresponding author: nassalam.unhas@yahoo.co.id

**Abstract.** The flow across a dimpled surface arrangement of half spherical parallel zigzag configurations, on a square cylinder surface is one form that is still rarely used. However, the use of dimpled arrays can be seen in aircraft wing surfaces and high-speed vehicle surfaces. The research method was carried out with a computer fluid dynamic (CFD) program using ANSYS FLUENT 18.0. Square cylindrical specimens were 9 pieces with a length of 300 mm, width 100 mm and height of 100 mm, while dimpled shaped half spheres with a ratio (DR) = 0.5. The dimpled is arranged in parallel configurations and zigzag configurations with number of rows, 1 to 8 rows, then all specimens are given the same flow velocity treatment, ie at speeds of 20 m/s. The study took place in a turbulent flow region with a Reynolds number (Re) = 125.161, indicating that the velocity path on a square cylinder using dimpled half ball slowed the flow separation and decreased vortex flow. The use of dimpled 2 lines has the smallest obstacle compared to without dimpled and with dimpled (1, 3, 4, 5, 6, 7 and 8) lines, and dimpled 2 parallel configuration lines experience smaller obstacles than zigzag configurations.

**Abstrak.** Aliran melintasi susunan permukaan berlesung (*dimpled*) setengah bola konfigurasi sejajar dan *zigzag*, pada permukaan silinder persegi merupakan salah satu bentuk yang masih jarang digunakan. Namun demikian, penggunaan dari susunan *dimpled* dapat dilihat pada permukaan sayap pesawat dan permukaan kendaraan berkecepatan tinggi. Metode penelitian dilaksanakan dengan program *computer fluid dynamic* (CFD) menggunakan perangkat ANSYS FLUENT 18.0. Benda uji silinder persegi sebanyak 9 buah dengan ukuran panjang 300 mm, lebar 100 mm dan tinggi 100 mm, sedangkan *dimpled* berbentuk setengah bola dengan rasio (DR) = 0,5. *Dimpled* disusun dalam konfigurasi sejajar dan konfigurasi *zigzag* dengan jumlah baris, 1 sampai dengan 8 baris, kemudian seluruh benda uji diberi perlakuan kecepatan aliran yang sama, yaitu pada kecepatan 20 m/s. Penelitian berlangsung dalam daerah aliran turbulen dengan bilangan Reynolds (Re) = 125.161, menunjukkan bahwa *pathline* kecepatan pada silinder persegi dengan menggunakan *dimpled* setengah bola memperlambat pemisahan aliran dan menurunkan olakan aliran. Penggunaan *dimpled* 2 baris mengalami hambatan yang paling kecil dibandingkan dengan tanpa *dimpled* dan dengan *dimpled* (1, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8) baris, dan *dimpled* 2 baris konfigurasi sejajar mengalami hambatan yang lebih kecil dibandingkan konfigurasi *zigzag*.

**Keywords:** pathline kecepatan, pemisahan aliran, vorteks aliran, dimpled.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Ketika suatu fluida mengalir melalui suatu pelat datar, maka akan terjadi kehilangan energi akibat adanya gaya tahanan yang ditimbulkan oleh pengaruh lapisan batas dan oleh adanya pemisahan aliran (*separasi*). Dalam kategori pertama, tahanan disebabkan secara langsung oleh efek-efek viskos sehingga tegangan tangensial disebut tahanan viskos atau tahanan gesek. Kategori ke dua, walaupun secara taklangsung disebabkan oleh viskositas, namun disebabkan karena pengaruh tekanan, jadi karena gaya-gaya normal dan disebut tahanan bentuk atau tahanan tekanan. Hal ini

merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi industri transportasi dalam meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem.

Penelitian aliran melintasi susunan permukaan berlesung (*dimpled*) setengah bola konfigurasi sejajar, pada permukaan pelat datar. Benda uji terbuat dari *acrylic* sebanyak 9 (sembilan) buah dengan ukuran panjang 30 cm, lebar 10 cm dan tebal 0,5 cm, sedangkan *dimpled* berbentuk setengah bola dengan ratio (DR) = 0,5. *Dimpled* disusun dalam konfigurasi sejajar dengan jumlah baris adalah (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8) baris, kemudian diberi perlakuan kecepatan aliran yang sama, yaitu 7 (tujuh) tingkat kecepatan (8; 10; 12;

14; 16; 18 & 20) m/s. Penelitian berlangsung dalam daerah aliran turbulen dengan bilangan Reynolds (Re) dari 129.171 sampai dengan 322.928, menunjukkan bahwa penggunaan *dimpled* setengah bola menurunkan gaya tahanan, sebagai contoh pada kecepatan aliran yang sama 16 m/s, tanpa *dimpled* diperoleh gaya tahanan ( $F_D$ ) = 0,22 Newton dan koefisien tahanan ( $C_D$ ) = 0,05139, sedangkan dengan *dimpled* 2 (dua) baris diperoleh  $F_D$  = 0,200 Newton dan  $C_D$  = 0,04672, dengan demikian penggunaan *dimpled* 2 (dua) baris menurunkan gaya tahanan sebesar 9,087 % pada  $Re = 258.342$  [1].

Karakteristik aliran melewati permukaan *dimpled* dengan pendekatan numerik. Aliran turbulen melewati barisan *dimpled* pada sebuah saluran dengan bilangan Reynolds rendah. Bentuk *dimpled* digambarkan oleh fungsi cosinus. Empat kedalaman ( $h$ ) = 0,05; 0,10; 0,15 dan 0,20. Penelitian ini menunjukkan bahwa, kedua aliran rata-rata dan fluktuasi *near wall turbulent* dapat efektif secara signifikan. Pada *dimpled* yang lebih dalam, lebih besar separasi aliran yang terjadi pada rongga dan tegangan Reynolds yang dihasilkan pada *near wall turbulent*, diikuti oleh tekanan *drag* dan total *drag* yang lebih besar [2].

Pada *dimpled* berukuran mikro yang diukur ke permukaan logam menggunakan metode modifikasi *ultrasonic nano-crystal surface*, lapisan batas turbulen melewati permukaan *dimpled* dan berkembang di belakang *trailing edge* pelat datar, diukur dengan teknik pengukuran aliran, dan mengungkapkan penambahan momentum aksial dalam lapisan batas. Permukaan *dimpled* dengan kekasaran skala *submicron* mengalami *hydrophobicity* permukaan. Formasi *dimpled* dapat mengurangi *skin friction* dengan mereduksi tegangan geser pada dinding serta mereduksi profil *drag* sekitar 3-5% secara konsisten, dan ditemukan bahwa *dimpled manufacturing* memberikan permukaan akhir yang lebih baik karena mengurangi gaya *drag* [3].

Koefisien gesekan-dinding aliran lapisan batas turbulen melewati dinding licin dengan alur persegi melintang pada empat konfigurasi dinding-beralur. Empat konfigurasi dinding-beralur tersebut, seperti dinding yang kasar, yang ditandai dengan spasi rongga persegi dua dimensi (alur) ditempatkan normal terhadap aliran. Integrasi koefisien gesekan-dinding dalam arah aliran menunjukkan bahwa ada peningkatan *drag* total hingga 3,54 % pada alur tunggal [4].

Pendekatan simulasi numerik lapisan batas turbulen melewati tonjolan (*bump*), dilakukan untuk mendapatkan efek dari permukaan kelengkungan *longitudinal* fluktuasi tekanan

dinding. Fluktuasi dinding tekanan secara signifikan meningkat di dekat *trailing edge* pada *bump*, dimana lapisan batas memperoleh gradien tekanan yang sangat merugikan. Struktur skala besar pada distribusi fluktuasi tekanan dinding, berkembang pesat dekat *trailing edge* pada *bump* dan *convect downstream*. Jarak antara vortisitas *streamwise* dan dinding sedikit meningkat pada *trailing edge* pada *bump*. Hal ini, disebabkan besarnya vortisitas *streamwise* [5].

Konfigurasi *dimpled* dengan diameter 1.0 mm dan rasio kedalaman dengan diameter 0,2, yang terletak di 30%-60%; dan 75%-95% panjang *chord* aksial masing-masing sisi hisap, efektif mengurangi kehilangan tekanan total. Pada sudut datang -5,3°; 0°; 5,3°; 7,5°; 10° dan bilangan Mach 0,4 mengalami peningkatan gaya beban *blade* yang memiliki *dimpled*. Hasil perbandingan juga menunjukkan bahwa *dimpled* pada 30%-60% dari sisi hisap, lebih efektif dalam mereduksi kerugian tahanan dibanding 75%-95%, pada semua sudut datang tersebut di atas [6].

Karakteristik lapisan batas turbulen melewati permukaan pelat yang memiliki *dimpled* dibandingkan dengan tanpa *dimpled*, ditemukan bahwa faktor gesekan pelat memiliki *dimpled* sekitar 30%-80% lebih tinggi dibandingkan dengan pelat datar, dan tergantung pula pada bilangan Reynolds. Hal ini menunjukkan fenomena karakteristik aliran melewati permukaan pelat yang memiliki *dimpled* menjadi menarik untuk dikaji [7]. Karakteristik aliran di sekitar bola, aliran akan melewati pertumbuhan lapisan batas pelat datar, fenomena ini ditunjukkan secara eksperimental PIV. Bila bola tertanam dalam lapisan batas turbulen, dengan ketebalan 63 mm yang lebih besar dari diameter bola 42,5 mm maka distribusi fluktuasi kecepatan aliran, pola garis arus seksional, kontur vortisitas, medan kecepatan aliran, energi kinetik turbulen dan korelasi tegangan Reynolds dapat diperoleh dengan menggunakan data PIV. Kajian ini menjelaskan bahwa, jet seperti aliran yang memicu aliran *entrainment* antara inti dan interaksi lapisan batas yang berkembang sebagai fungsi lokasi bola. Kesenjangan rasio yang besar mempengaruhi struktur aliran dari batas-berkembangnya interaksi lapisan batas yang berkembang dan variasi lokasi terjadinya separasi aliran permukaan pelat [8].

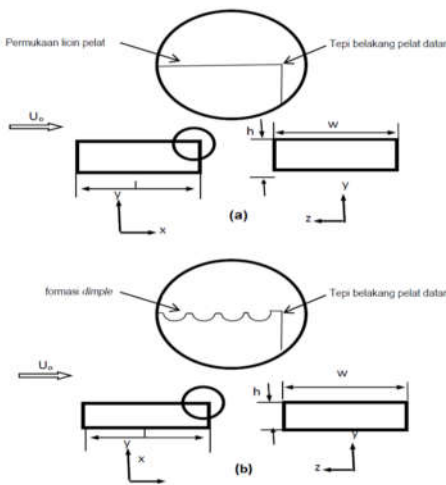
Kontrol *passif dimpled*, memicu ketidak stabilan yang menyebabkan transport momentum yang signifikan. Lapisan geser terbentuk sebagai separasi aliran melewati dua baris pertama *dimpled* menjadi tidak stabil dan kumpulan vorteks yang koheren. Ketika vorteks berkembang melewati pelat atau rangkaian *dimpled*, maka dinamika aliran

menjadi sangat berbeda akibat perubahan transport momentum melintasi lapisan batas. Penerapan *dimpled type semi spherical inward* pada benda uji pelat, dengan rasio *dimpled* (RD) = 0,1 dan kedalaman *dimpled* setara dengan dua kali tebal lapisan batas dengan formasi *dimpled* 2 dan 8 baris bersilangan (*staggered arrangement*), memberikan gambaran fenomena pola aliran yang berbeda, bila mendapatkan penambahan *dimpled* pada bagian permukaan [9].

Penelitian penempatan silinder sirkular sebagai *inlet disturbance body* (IDB) yang dipasang sebelum tandem silinder persegi, mengakibatkan reduksi tahanan silinder persegi dari  $C_D = 2,13$  menjadi  $C_D = 1,67$  atau sebesar 21,6 %, dan mereduksi distribusi tekanan dari  $C_p = 1,02$  menjadi  $C_p = 0,87$  atau sebesar 14,7 %. Berdasarkan hasil tersebut, maka nilai optimal akibat penambahan IDB adalah pada  $L/D = 0,43$  dan  $d/D = 0,14$  dengan nilai  $C_D = 1.67$  dan  $C_p = 0.87$  [10].

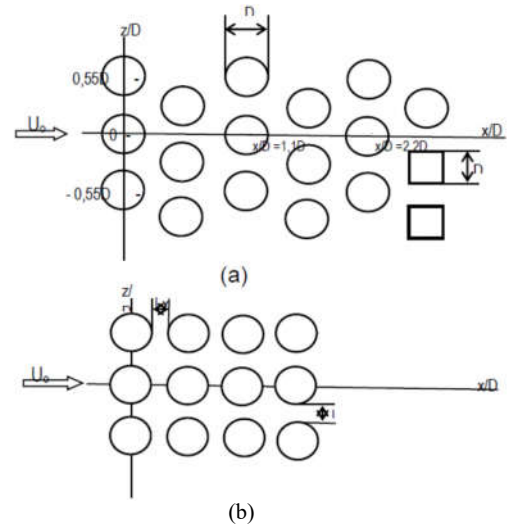
**Metode Penelitian**

**Model Benda Uji.** Benda uji berbentuk silinder persegi yang ditambahkan formasi *dimpled* pada permukaan atas. Permukaan atas silinder persegi ditambahkan berbagai variasi konfigurasi formasi *dimpled*. Perlakuan yang diberikan adalah dengan merubah jumlah baris *dimpled* terhadap sumbu x ( $L_x/D$ ) sebanyak 8 (delapan) tingkat variasi yaitu (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8) baris dan tanpa *dimpled*, dengan jarak antar *dimpled* terhadap sumbu z ( $L_z/D$ ) konstan, rasio *dimpled* ( $DR = 0,5$ ) dengan bentuk *dimpled* setengah bola.

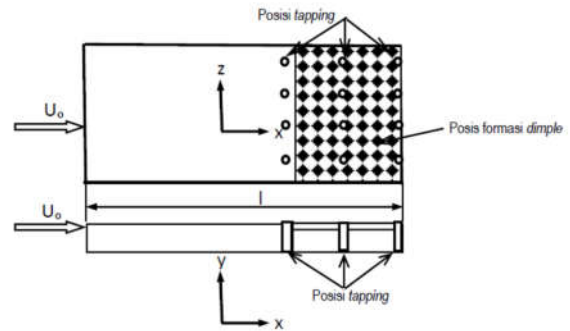


**Gambar 1.** Model uji silinder persegi (a) permukaan tanpa *dimpled* (b) dengan penambahan formasi *dimpled*

Setiap konfigurasi barisan *dimpled* dipasang sejajar dan *zigzag*, kemudian dialiri fluida pada kecepatan aliran ( $U_0$ ) yang sama, yaitu 20 m/s. Adapun ukuran benda uji silinder persegi adalah, masing-masing panjang ( $L = 300$  mm), lebar ( $w = 100$  mm), dan tinggi ( $h = 100$  mm). Dari gambar 1 terlihat bahwa pemasangan *dimpled* pada silinder persegi adalah pada ujung bagian belakang pelat datar.



**Gambar 2.** Tampilan *dimpled* (a) konfigurasi zigzag (b) konfigurasi sejajar

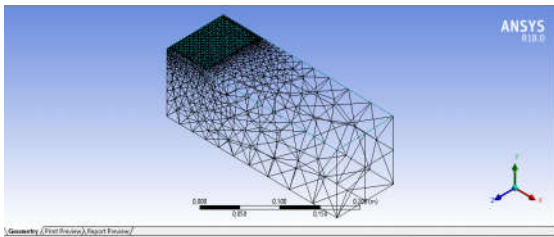


**Gambar 3.** Tampilan posisi pemasangan *dimpled* pada permukaan silinder.

Dari gambar 2 memperlihatkan konfigurasi baris *dimpled* yaitu, pada gambar 2(a) dan 2(b) sumbu z horizontal yang tegak lurus terhadap arah aliran, dan sumbu x searah sumbu aliran. Jarak antara *dimpled* pada sumbu x ( $L_x$ ) dan jarak antar *dimpled* pada sumbu z ( $L_z$ ), sedangkan gambar 3 memperlihatkan posisi *dimpled* pada permukaan silinder persegi.

**Tahapan Analisis Komputasi.** Analisis komputasi menggunakan simulasi CFD berdasarkan ANSYS FLUENT 18.0. Model dari

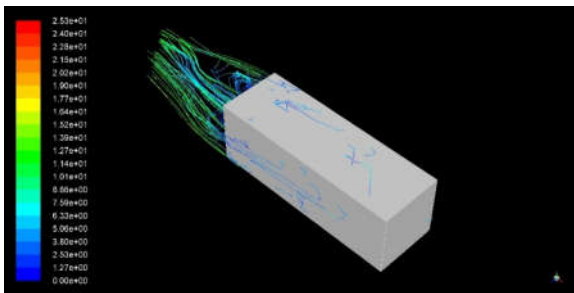
objek uji ditampilkan pada Gambar 1, 2 dan 3. Simulasi dimulai dengan melakukan proses meshing menggunakan ANSYS ICEM CFD 18.0 dengan *mode automatic*, dimana software akan menentukan jenis *meshing* yang paling optimal sesuai dengan *geometry*, pada umumnya menggunakan *tetrahedrons*. Setelah proses *meshing*, dilanjutkan dengan proses *setup* pada ANSYS FLUENT 18.0 seperti, menentukan jenis fluida, arah aliran fluida dan kecepatan fluida pada kecepatan 20 m/s. Setelah itu, menentukan jumlah iterasi yaitu 100 kali dan melakukan proses kalkulasi. Setelah melakukan proses kalkulasi, menampilkan hasil komputasi yaitu *pathline velocity*. Salah satu contoh jenis *meshing*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 berikut ini.



**Gambar 4.** Meshing benda uji konfigurasi *dimpled* sejajar 8 (delapan) baris.

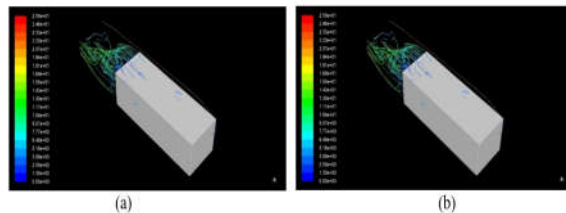
### Hasil dan Pembahasan

Gambar 5 berikut ini memperlihatkan *pathline* kecepatan tanpa *dimpled* pada kecepatan 20 m/s. Dari Gambar 5 tersebut, terlihat bahwa pada bagian belakang model silinder persegi tanpa *dimpled* terjadi pemisahan aliran lebih awal pada bagian belakang silinder persegi. Demikian pula, vorteks aliran lebih besar dan berlangsung cukup lama. Selanjutnya pada gambar 7 memperlihatkan *pathline* kecepatan dengan *dimpled* model 2 (dua) baris pada kecepatan yang sama yaitu 20 m/s.



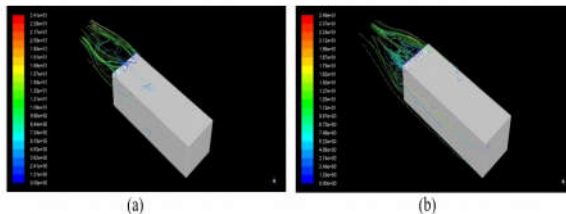
**Gambar 5.** *Pathline* kecepatan pada silinder persegi tanpa *dimpled* pada kecepatan aliran,  $U = 20$  m/s.

Ternyata vorteks aliran yang terjadi pada model 2 baris lebih kecil dan berlangsung cukup singkat bila dibandingkan tanpa *dimpled*. Sedangkan, pada gambar 6, 8, 9, 10, 11, 12 dan 13 memperlihatkan *pathline* kecepatan dengan *dimpled* model (1, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8) baris pada kecepatan yang sama yaitu 20 m/s. Ternyata vorteks aliran yang terjadi pada model selain 2 baris lebih besar dan berlangsung cukup lama, dibanding dengan model 2 baris *dimpled*.



**Gambar 6.** *Pathline* kecepatan pada silinder persegi dengan konfigurasi *dimpled* 1 (satu) baris (a) sejajar dan (b) zigzag, rasio *dimpled*,  $DR = 0,5$  pada kecepatan aliran,  $U = 20$  m/s.

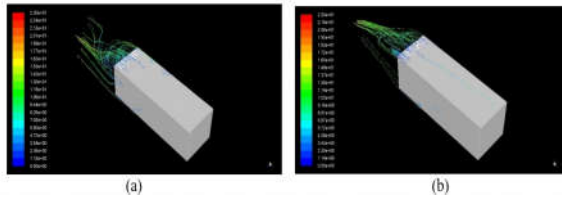
Gambar 6 sampai dengan gambar 13, memperlihatkan perbandingan *pathline* kecepatan *dimpled* model konfigurasi sejajar dengan model konfigurasi zigzag, pada jumlah baris *dimpled* yang sama yaitu jumlah baris 1 (satu) sampai dengan 8 (delapan), pada kecepatan 20 m/s. Hasil perbandingan kedua konfigurasi ini menunjukkan, pemisahan aliran dan olakan aliran selalu lebih kecil pada *dimpled* model konfigurasi sejajar dibandingkan dengan *dimpled* konfigurasi zigzag.



**Gambar 7.** *Pathline* kecepatan pada silinder persegi dengan konfigurasi *dimpled* 2 (dua) baris (a) sejajar dan (b) zigzag, rasio *dimpled*,  $DR = 0,5$  pada kecepatan aliran,  $U = 20$  m/s.

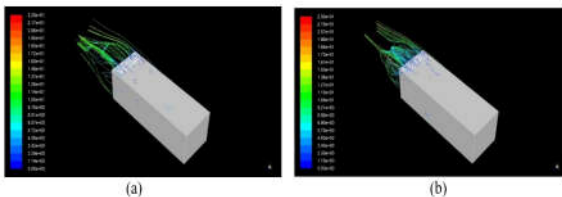
Secara khusus bila diamati pada *dimpled* 2 (dua) baris sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 7, maka perbandingan pemisahan aliran dan vorteks aliran setelah melewati silinder persegi, dimana pada model konfigurasi sejajar lebih kecil dan lebih cepat teredam dibandingkan dengan model konfigurasi zigzag. Berdasarkan karakteristik tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa, *dimpled* model konfigurasi sejajar

hambatan aliran fluida yang melewati lebih kecil dibandingkan dengan *dimpled* konfigurasi *zigzag*.



**Gambar 8.** *Pathline* kecepatan pada silinder persegi dengan konfigurasi *dimpled* 3 (tiga) baris (a) sejajar dan (b) *zigzag*, rasio *dimpled*,  $DR = 0,5$  pada kecepatan aliran,  $U = 20$  m/s.

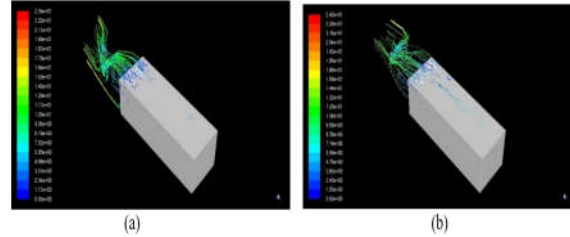
Dari gambar 8 di atas, memperlihatkan perubahan vorteks aliran lebih besar dibandingkan dengan pada konfigurasi *dimpled* 2 (dua) baris. Fenomena ini menunjukkan pula pola pemisahan aliran yang lebih besar, dan hal ini berakibat terjadinya gejala aliran yang lebih besar, atau sebaliknya gejala aliran yang lebih besar, berakibat lebih besarnya vorteks aliran. Kondisi ini memberikan gambaran hambatan konfigurasi *dimpled* 2 (dua) baris lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi *dimpled* 3 (tiga) baris. Fenomena ini memberikan pola yang sama untuk konfigurasi *dimpled* sejajar dengan konfigurasi *dimpled* *zigzag*. Namun demikian, vorteks aliran pada konfigurasi *dimpled* *zigzag* lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi *dimpled* sejajar.



**Gambar 9.** *Pathline* kecepatan pada silinder persegi dengan konfigurasi *dimpled* 4 (empat) baris (a) sejajar dan (b) *zigzag*, rasio *dimpled*,  $DR = 0,5$  pada kecepatan aliran,  $U = 20$  m/s.

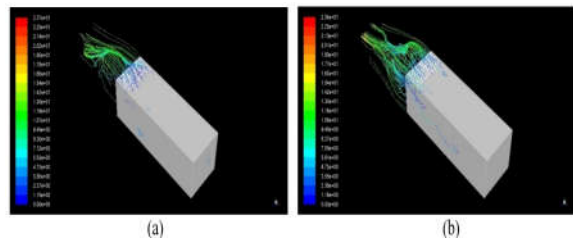
Fenomena perubahan *pathline* kecepatan konfigurasi *dimpled* 4 baris sampai dengan 8 baris sebagaimana dalam gambar 9 sampai dengan gambar 13, menunjukkan peningkatan vorteks aliran. Hal ini disebabkan oleh karena, penambahan jumlah baris *dimpled* lebih besar dari dua baris tidak mampu mereduksi tegangan geser pada dinding. Sebaliknya pemakaian *dimpled* 1 baris dan 2 baris, justru mampu mereduksi tegangan geser pada dinding bila dibandingkan tanpa *dimpled*.

Penggunaan *dimpled* pada silinder persegi, dapat memicu kestabilan dan ketidak stabilan yang menyebabkan transport momentum yang signifikan. Lapisan geser terbentuk sebagai pemisahan aliran melewati dua baris pertama *dimpled* menjadi tidak stabil dan kumpulan vorteks aliran yang koheren.

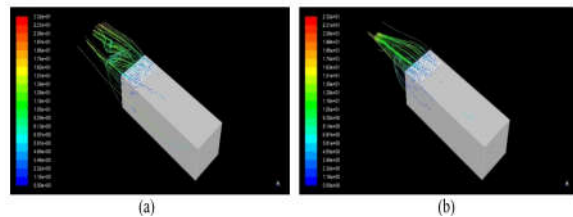


**Gambar 10.** *Pathline* kecepatan pada silinder persegi dengan konfigurasi *dimpled* 5 (lima) baris (a) sejajar dan (b) *zigzag*, rasio *dimpled*,  $DR = 0,5$  pada kecepatan aliran,  $U = 20$  m/s.

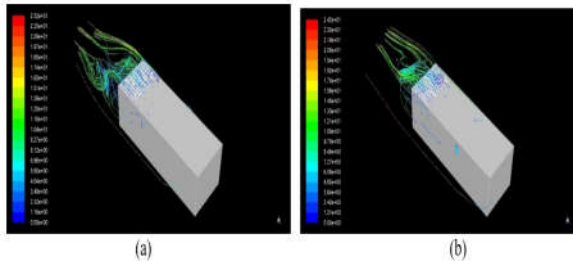
Ketika vorteks berkembang melewati silinder persegi atau rangkaian *dimpled*, maka dinamika aliran menjadi sangat berbeda, akibat perubahan *transport momentum* melintasi lapisan batas. Penerapan konfigurasi *dimpled* sejajar dan *zigzag* pada silinder persegi, dengan rasio *dimpled* ( $RD$ ) = 0,5 memberikan gambaran fenomena pola aliran yang berbeda, bila mendapatkan penambahan *dimpled* pada bagian permukaan.



**Gambar 11.** *Pathline* kecepatan pada silinder persegi dengan konfigurasi *dimpled* 6 (enam) baris (a) sejajar dan (b) *zigzag*, rasio *dimpled*,  $DR = 0,5$  pada kecepatan aliran,  $U = 20$  m/s.



**Gambar 12.** *Pathline* kecepatan pada silinder persegi dengan konfigurasi *dimpled* 7 (tujuh) baris (a) sejajar dan (b) *zigzag*, rasio *dimpled*,  $DR = 0,5$  pada kecepatan aliran,  $U = 20$  m/s.



**Gambar 13.** *Pathline* kecepatan pada silinder persegi dengan konfigurasi *dimpled* 8 (delapan) baris (a) sejajar dan (b) *zigzag*, rasio *dimpled*, DR = 0,5 pada kecepatan aliran,  $U = 20$  m/s.

Berdasarkan *pathline* kecepatan tersebut di atas, maka formasi *dimpled* dapat mengurangi *skin friction* dengan mereduksi tegangan geser pada dinding, serta mereduksi hambatan aliran secara konsisten bila dibandingkan tanpa *dimpled*, dan ditemukan pula bahwa penggunaan *dimpled* memberikan permukaan silinder persegi yang lebih baik, karena mengurangi hambatan.

### Kesimpulan

Analisis komputasi aliran fluida melintasi silinder persegi berlesung (*dimpled*) setengah bola konfigurasi sejajar dan konfigurasi *zigzag* dengan rasio *dimpled* (DR) = 0,5, pada jumlah baris *dimpled* (N) = 1 sampai dengan 8 dan tanpa *dimpled*, dengan kecepatan aliran masuk *wind tunnel* atau aliran luar benda uji  $U_0 = 20$  m/s atau aliran turbulen pada bilangan Reynolds ( $Re_D$ ) = 125.161, disimpulkan:

- Semakin besar jumlah baris *dimpled* baik pada konfigurasi sejajar maupun *zigzag*, maka semakin kecil pula pemisahan dan vorteks aliran, namun pada  $N = 2$  mengalami titik balik atau bila  $N > 2$  maka pemisahan dan olakan aliran semakin besar.
- Pola reduksi pemisahan alirandanolakan aliran, mendekati sama untuk setiap perubahan kecepatan aliran atau bilangan Reynolds dan jumlah baris *dimpled*. Fenomena ini menunjukkan bahwa, secara umum penggunaan *dimpled* lebih baik dibanding tanpa *dimpled*.
- Penggunaan *dimpled* pada silinder persegi konfigurasi sejajar menghasilkan pemisahan aliran dan vorteks aliran yang lebih kecil dibandingkan dengan *dimpled* konfigurasi *zigzag*.
- Formasi konfigurasi *dimpled* pada silinder persegi dapat mengurangi *skin friction* dengan

mereduksi tegangan geser pada dinding, serta mereduksi hambatan aliran.

### Penghargaan

Kami menghaturkan terima kasih, kepada Universitas Hasanuddin karena penelitian ini dibiayai melalui skema Penelitian Professorship Universitas (PPU) Tahun Anggaran 2018, yang dikelola oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Hasanuddin. Demikian pula, kepada Anggota Tim peneliti dan Panitia SNTTM XVII-2018 Prodi Teknik Mesin Universitas Nusa Cendana Kupang, kami menghaturkan terima kasih atas perhatian dan bantuan yang diberikan.

### Referensi

- [1] Salam Nasaruddin, dkk., 2017. Analisis Gaya Tahanan Aliran Fluida Melintasi Pelat Berlesung (*Dimpled*) Setengah Bola Konfigurasi Sejajar, Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan VIII Universitas Udayana Denpasar Bali, ISSN 2338-414X, halaman 8 – 13.
- [2] Mingwei G.E., 2016. Numerical Investigation of Flow Characteristics Over Dimpled Surface, *Thermal Science* Vol: 20, No. 3, pp. 903-906.
- [3] Paik B.G., et al., 2015. Study on The Micro-Dimpled Surface in Terms of Drag Performance, *Experimental Thermal and Fluid Science* 68, pp. 247–256.
- [4] Ranjan P., et al., 2011. Computational Analysis of Frictional Drag Over Transverse Grooved Flat Plates, *International Journal of Engineering, Science and Technology*, Vol. 3, No. 2, , pp. 110-116.
- [5] Kim J., and Sung H. J., 2006. Wall Pressure Fluctuations in a Turbulent Boundary Layer Over a Bump, *AIAA Journal*, Vol. 44, No. 7.
- [6] Zhao Y., et al., 2016. Experimental Studies of Dimpled Surface Effect on The Performance of Linear Cascade Under Different Incidence Angles, 9th International Conference on Digital Enterprise Technology – DET, pp. 137 – 142.

- [7] Zhou W., et al., 2016. An Experimental Investigation on the Characteristics of Turbulent Boundary Layer Flows Over a Dimpled Surface, *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 138, pp. 021204-1 – 13.
- [8] Ozgoren M., et al., 2013. Investigation of Flow Characteristics Around a Sphere Placed in a Boundary Layer Over a Flat Plate, *Experimental Thermal and Fluid Science* 44, 2013 pp. 62–74.
- [9] Beratlis N., et al., 2014. Effects of Dimples on Laminar Boundary Layers, *Journal of Turbulence*, Vol. 15, No. 9, pp. 611–627.
- [10] Salam Nasaruddin, et al., 2017. The Effect of the Addition of Inlet Disturbance Body (IDB) to Flow Resistance through the Square Cylinders Arranged in Tandem, *International Review of Mechanical Engineering (I.R.E.M.E.)*, Vol. 11, N. 3, ISSN 1970 – 8734.