

SIMULASI NUMERIK PENGARUH VARIASI RASIO *PITCH*/DIAMETER *DIMPLE* TERHADAP DISTRIBUSI KECEPATAN DAN INTENSITAS TURBULENSI PADA *INTAKE MANIFOLD* SEPEDA MOTOR KLX 150L

Dimas Alfi Indraka

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: dimasalfi.22004@mhs.unesa.ac.id

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

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

Abstrak

Semakin meningkatnya jumlah kendaraan sepeda motor di Indonesia memberikan dampak cukup signifikan. Di antara lain terhadap besarnya konsumsi bahan bakar fosil dan emisi yang dihasilkan, terutama dari kendaraan yang masih menggunakan karburator seperti Kawasaki KLX 150L. Sistem karburator menjadi penyebab tingginya konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang akibat dari sistem pencampuran bahan bakar yang kurang sempurna karena aliran fluida kurang turbulen. Tujuan dari penelitian ini guna menganalisa pengaruh variasi rasio perbandingan *pitch* dan diameter *dimple* (s/D 1,2; 1,4; 1,6; 1,8) terhadap distribusi kecepatan dan intensitas turbulensi di *intake manifold* KLX 150L. Di dalam penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* dengan *software* Ansys *Fluent* pada kondisi *transient*. Variabel terikat meliputi distribusi kecepatan berupa *velocity contour* dan intensitas turbulensi berupa *Turbulent Kinetic Energy Contour* untuk semua variasi rasio (s/D). Variabel kontrol berupa rasio perbandingan kedalaman *dimple* terhadap diameter *dimple* (h/D) sebesar 0,25 menggunakan susunan *staggered* 30° dengan 3 variasi bilangan *Reynolds* sebesar $1,14 \times 10^4$; $2,29 \times 10^4$; dan $3,43 \times 10^4$. Dari hasil simulasi, variasi rasio perbandingan *pitch* dan diameter *dimple* (s/D) terbukti mempengaruhi distribusi kecepatan dan intensitas turbulensi. Rasio s/D 1,2 menghasilkan distribusi kecepatan paling merata dan kecepatan tertinggi di *outlet* pada semua bilangan *Reynolds*. Dan rasio s/D 1,2 menghasilkan *Turbulent Kinetic Energy* paling tinggi di *outlet* dan turbulensi paling merata sepanjang saluran *intake manifold* di semua bilangan *Reynolds*.

Kata Kunci: *dimple*, *intake manifold*, rasio perbandingan *pitch* dan diameter *dimple* (s/D), *turbulent kinetic energy*, CFD.

Abstract

The increasing number of motorcycle vehicles in Indonesia has had a significant impact. Among other things, the large consumption of fossil fuels and the emissions produced, especially from vehicles that still use carburetors such as the Kawasaki KLX 150L. The carburetor system is the cause of high fuel consumption and exhaust gas emissions due to a less than perfect fuel mixing system due to less turbulent fluid flow. The purpose of this study was to analyze the effect of variations in the ratio of pitch and dimple diameter ratios (s/D 1.2; 1.4; 1.6; 1.8) on the distribution of turbulence velocity and intensity in the KLX 150L intake manifold. In this study, a numerical simulation method based on *Computational Fluid Dynamics* was used with Ansys *Fluent* software under transient conditions. The bound variables included the velocity contour velocity distribution and turbulence intensity in the form of *Turbulent Kinetic Energy Contour* for all ratio variations (s/D). The control variable was in the form of a ratio of dimple depth to dimple diameter (h/D) of 0.25 using a *staggered* arrangement of 30° with 3 variations of the *Reynolds* number of 1.14×10^4 ; 2.29×10^4 ; and 3.43×10^4 . From the simulation results, the variation in the ratio of pitch and diameter of the dimple (s/D) was shown to affect the distribution of turbulence velocity and intensity. The ratio to 1.2 results in the most even velocity distribution and the highest velocity at the outlet on all *Reynolds* numbers. And the ratio to 1.2 produces the highest *Turbulent Kinetic Energy* at the outlet and the most evenly distributed turbulence along the intake manifold channel in all *Reynolds* numbers.

Keywords: *dimple*, *intake manifold*, ratio of pitch and dimple diameter (s/D), *turbulent kinetic energy*, CFD.

PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor adalah hal yang sangat dibutuhkan oleh manusia era sekarang. Ini disebabkan oleh peningkatan mobilitas seiring berkembangnya peradaban (Oktaviastuti dkk., 2017). Kendaraan bermotor yang umum

digunakan masyarakat berupa sepeda motor untuk kegiatan mobilisasi sehari-hari (Widiyanti, 2018). Hal tersebut juga didukung data dari Badan Pusat Statistika (BPS) terkait jumlah sepeda motor yang semakin meningkat setiap tahunnya. Di tahun 2022 jumlah sepeda motor sebanyak

125.305.332 dan meningkat menjadi 132.433.679 pada tahun 2023 (Badan Pusat Statistika, 2023).

Hal tersebut tentunya menyebabkan dampak negatif khususnya bagi lingkungan. Diantaranya Adalah buruknya kualitas udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor (Oktaviastuti dkk., 2017). Selain itu, peningkatan kendaraan bermotor juga menyebabkan tingginya konsumsi bahan bakar fosil meningkat. Sedangkan menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), produksi minyak mentah di Indonesia semakin menurun setiap tahunnya dari 2017-2023 (Badan Pusat Statistika, 2023).

Dari fenomena tersebut, tentunya masyarakat ingin memiliki sepeda motor yang ramah terhadap lingkungan. Meskipun saat ini sudah banyak pabrikan yang memproduksi sepeda motor dengan sistem injeksi, namun masih terdapat satu pabrikan yang memproduksi sepeda motor dengan sistem karburator hingga saat ini, yaitu Kawasaki KLX 150L. Yang mana tentunya lebih boros dalam hal konsumsi bahan bakar dan menghasilkan emisi yang tidak ramah lingkungan (Susilawati dkk., 2018). Hal tersebut dapat terjadi karena pembakaran yang kurang sempurna pada sistem karburator yang disebabkan pencampuran bahan bakar dan udara kurang homogen (Khoir, 2014).

Hal yang dapat dilakukan guna meningkatkan pencampuran bahan bakar sebelum masuk ke ruang bakar adalah melakukan modifikasi pada bagian *intake manifold* guna menciptakan pembakaran yang sempurna. Modifikasi yang dilakukan berupa membuat aliran turbulen di dalam *intake manifold* dengan melakukan penambahan *dimple* di dalam permukaan *intake manifold*. *Dimple* adalah cekungan menyerupai permukaan bola golf yang sengaja dibuat untuk menciptakan turbulensi.

Mekanisme kerja *dimple* dalam pembentukan turbulensi diawali dari aliran yang melintasi *dimple* kemudian akan masuk ke dalam *dimple* dan aliran akan ber-resirkulasi di dalam *dimple* dengan kecepatan lambat lalu akan keluar dari *dimple*, pada saat yang sama aliran utama yang melintas di atas *dimple* akan berinteraksi dan terganggu oleh aliran yang ber-resirkulasi di dalam *dimple*, sehingga akan terbentuk *shear layer* yang akan membentuk pusaran (*vortex*) (Zhou *et al.*, 2016). Sehingga *dimple* juga dapat berfungsi sebagai *turbulator* karena mampu membentuk turbulensi di dalam aliran (Abidi & Hasan, 2021). Dari turbulensi yang terbentuk oleh *dimple*, maka akan terjadi *mixing* di dalam *intake manifold* guna menciptakan campuran udara dan bahan bakar yang homogen untuk hasil pembakaran yang sempurna (Rahman & Wailanduw, 2023).

Dalam penelitian terdahulu didapatkan bahwa parameter geometris dari *dimple* seperti rasio perbandingan *pitch* dan diameter *dimple* (s/D) dan rasio perbandingan kedalaman *dimple* dan diameter *dimple* (h/D) serta pola penyebaran *dimple* mampu mempengaruhi karakteristik aliran. Namun kajian terkait pengaruh rasio s/D kecil pada *intake manifold* sepeda motor terhadap distribusi kecepatan dan turbulensi masih terbatas.

Dari hal tersebut, akan dilakukan penelitian yang berfokus pada variasi rasio perbandingan *pitch* dan diameter *dimple* (s/D) 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 terhadap distribusi kecepatan berupa *velocity contour* dan intensitas turbulensi

berupa *turbulent kinetic energy contour*. Pemilihan rasio tersebut didasarkan penelitian oleh Fan & Yin, (2008) yang mana rasio dibawah 2 memiliki turbulensi yang baik, maka penulis memilih rasio tersebut untuk mengetahui rasio s/D mana yang memiliki distribusi kecepatan dan intensitas turbulensi paling baik.

METODE

Jenis Penelitian

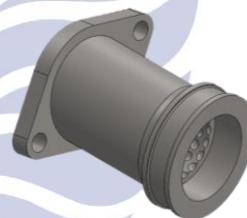
Di dalam penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* dengan bantuan *software Ansys Fluent* dengan kondisi aliran yang berubah terhadap waktu (*transient*). Dan hasil disampaikan dalam bentuk kontur dan juga grafik.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penulis akan melakukan penelitian berupa proses simulasi, pengambilan data dan analisa hasil simulasi di Lab. Aerodinamika gedung A8 Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Kegiatan tersebut akan dilaksanakan dalam rentang waktu 13 November 2025 sampai 8 April 2026.

Objek Penelitian

Objek penelitian yang akan digunakan oleh penulis berupa *intake manifold* dari sepeda motor KLX 150 yang akan dimodifikasi dengan penggunaan *dimple* pada rasio perbandingan *pitch* dan diameter *dimple* (s/D) 1,2; 1,4; 1,6; 1,8.



Gambar 1. 3D model *intake manifold* KLX 150L

Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah rasio perbandingan *pitch* dan diameter *dimple* (s/D) 1,2; 1,4; 1,6; 1,8.

2. Variabel Terikat

Pada penelitian ini variabel terikat berupa distribusi kecepatan berupa *velocity contour* dan intensitas turbulensi berupa *turbulent kinetic energy contour*.

3. Variabel Kontrol

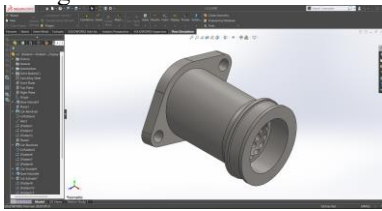
- Fluida campuran antara udara (*air*) dan bahan bakar (C_8H_{18}) pada proses simulasi
- *Intake manifold* KLX 150L
- Aliran *transient*
- Rasio perbandingan kedalaman *dimple* dan diameter *dimple* (h/D) 0,25
- 3 kecepatan *inlet* dan *Reynolds* yang digunakan 5,56 m/s ($1,14 \times 10^4$); 11,11 m/s ($2,29 \times 10^4$); dan 16,67 m/s ($3,43 \times 10^4$)

- Susunan *dimple staggered 30°*

Teknik Pengumpulan Data

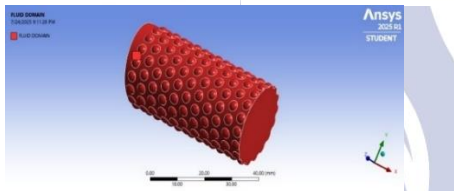
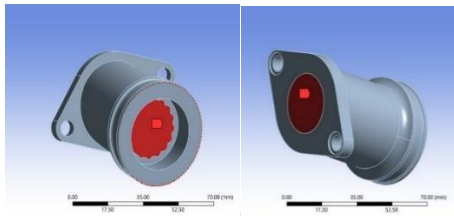
Tahap Pre-Processing

1. Pembuatan geometri



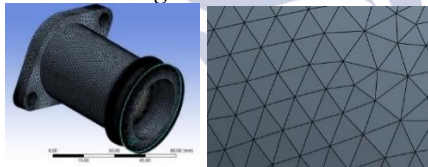
Gambar 2. Pembuatan geometri *intake manifold*
Pembuatan geometri dilakukan pada *software* Solidwork.

2. Penentuan *domain*



Gambar 3. *Inlet, outlet, dan fluid domain*
Proses ini untuk menentukan dimana letak *inlet, outlet dan fluid domain*.

3. Proses *meshing*



Gambar 4. Proses *meshing* pada *ansys & detail meshing*

Meshing pada *intake manifold* menggunakan jenis *tetrahedral*, *mesh* jenis ini sangat cocok untuk geometri yang tidak teratur.

4. Penentuan *solver* dan *boundary condition*

Solver yang digunakan adalah *pressure based* dengan model turbulen *k-epsilon* STD dengan kondisi aliran *transient*. Sedangkan untuk *inlet* berupa *velocity inlet* pada 3 kecepatan (5,56 m/s; 11,11 m/s; dan 16,67 m/s), dan *outlet* menggunakan *outflow*.

Tahap Processing

Setelah selesai melakukan *input*, simulasi dijalankan pada aliran *transient* dengan 3000 iterasi dan dipastikan mencapai konvergensi diatas 1e-03.

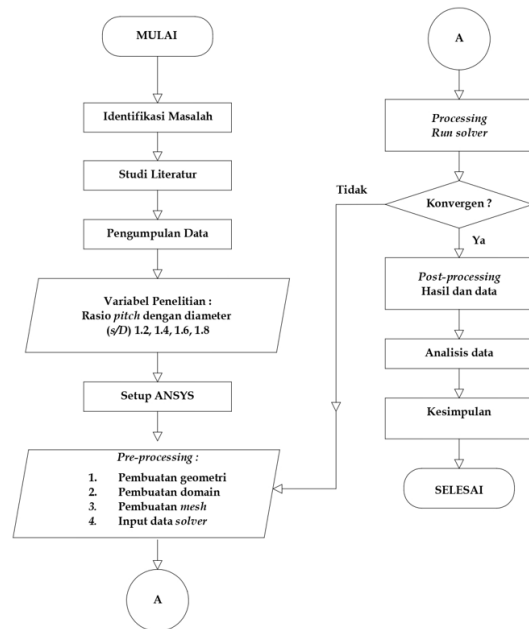
Tahap Post-Processing

Hasil simulasi dianalisis dalam bentuk kontur (*velocity contour* dan *turbulent kinetic energy contour*) dan juga nilai rata-rata pada *outlet* untuk menganalisa hasil dari pengaruh variasi rasio *s/D*.

Teknik Analisis Data

Penelitian pengaruh variasi rasio *s/D* adalah suatu langkah menarik untuk memahami distribusi kecepatan dan intensitas turbulensi. Dalam penelitian ini metode simulasi numerik digunakan untuk menganalisa bagaimana rasio *s/D* mempengaruhi sistem. Di tahap akhir parameter kecepatan fluida dan intensitas turbulensi ditentukan. Setelah itu, perubahan distribusi kecepatan dan intensitas turbulensi pada setiap variasi *s/D* akan dianalisa.

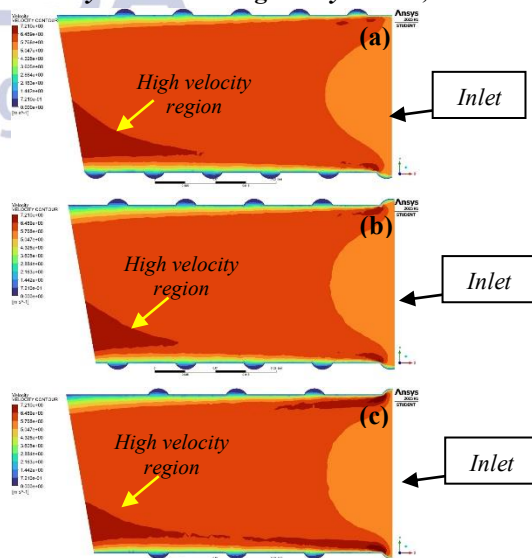
Diagram Alir Penelitian

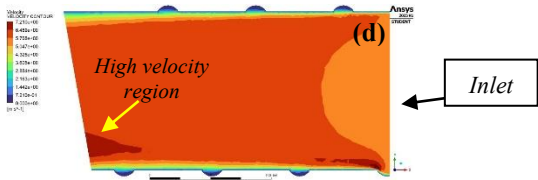


Gambar 5. Diagram alir penelitian

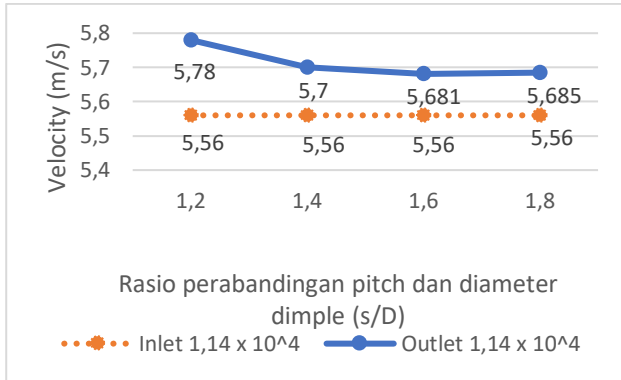
HASIL DAN PEMBAHASAN

Velocity contour bilangan Reynolds 1,14 x 10⁴





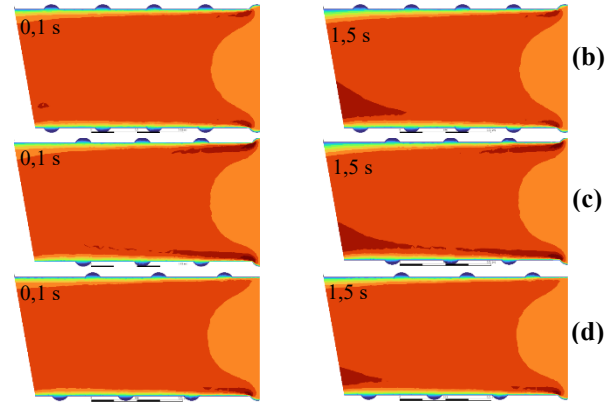
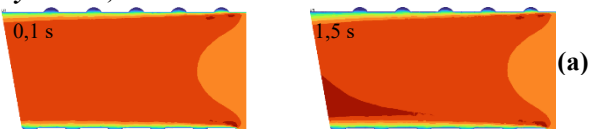
Gambar 6. Velocity contour pada rasio s/D (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; dan (d) 1,8 pada bilangan Reynolds $1,14 \times 10^4$



Gambar 7. Kurva velocity average di outlet pada bilangan Reynolds $1,14 \times 10^4$ di masing-masing rasio s/D
 Hasil simulasi variasi rasio s/D pada bilangan Re $1,14 \times 10^4$ dengan kecepatan inlet 5,56 m/s terbukti memiliki pengaruh terhadap distribusi kecepatan. Rasio s/D 1,2 memiliki kontur kecepatan tinggi di outlet yang paling lebar, disertai nilai velocity average di outlet yang paling tinggi sebesar 5,78 m/s. Semakin meningkatnya bilangan rasio s/D kontur kecepatan tinggi di outlet juga semakin menyempit, seperti yang terlihat pada gambar diatas, rasio s/D 1,6 dan 1,8 memiliki kontur kecepatan tinggi di outlet dan velocity average di outlet yang paling rendah.

Hasil tersebut disebabkan oleh rasio s/D kecil memiliki jumlah dimple yang rapat, sehingga meningkatkan terbentuknya vortex oleh interaksi aliran utama dengan aliran di dalam cekungan, sesuai dengan teori mekanisme dimple oleh (Zhou *et al.*, 2016). Turbulensi yang dihasilkan menciptakan redistribusi momentum, dimana aliran akan saling bertukar momentum satu sama lain, sehingga distribusi kecepatan merata dan nilai velocity average di outlet meningkat. Sesuai dengan teori Reynolds stress yang mana turbulensi/fluktuasi kecepatan menyebabkan pertukaran momentum antar fluida (White, 2011). Secara keseluruhan, rasio s/D 1,2 unggul dalam luasan zona kecepatan tinggi dan nilai kecepatan rata-rata di outlet.

Velocity contour kondisi transient pada bilangan Reynolds $1,14 \times 10^4$

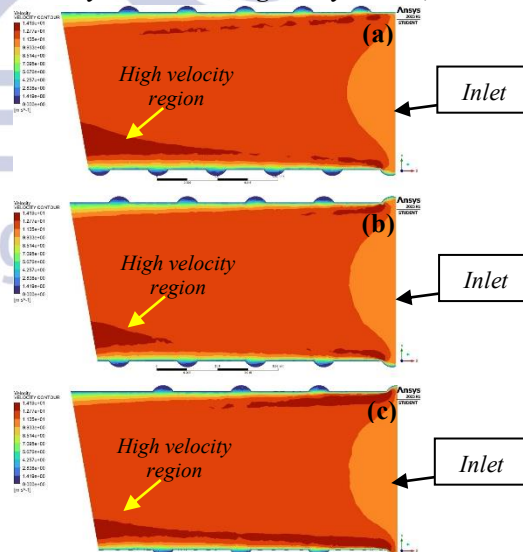


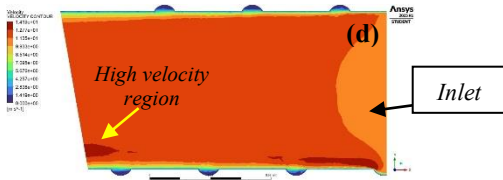
Gambar 8. Velocity contour timesteps 0,1 s dan 1,5 rasio s/D (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; (d) 1,8 pada bilangan Reynolds $1,14 \times 10^4$

Dari hasil simulasi transient menunjukkan perkembangan aliran dipengaruhi oleh waktu. Pada semua bilangan rasio s/D di time steps (ts) 0,1 s aliran cenderung masih dalam fase awal perkembangan dan warna kontur relatif homogen. Pada ts 1,5, aliran lebih berkembang ditandai munculnya zona kecepatan tinggi di outlet. Rasio s/D 1,2 tetap memiliki tren yang sama, menghasilkan kontur kecepatan tinggi di outlet yang paling luas, kemudian menurun seiring meningkatnya bilangan rasio.

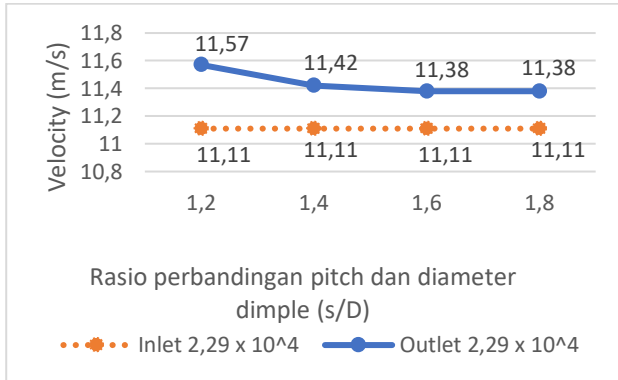
Hal tersebut disebabkan mekanisme dimple dalam menciptakan vortex dan shear layer membutuhkan waktu untuk berkembang. Pada ts yang lebih tinggi, mekanisme dimple mulai bekerja dan menghasilkan turbulensi yang akan menciptakan redistribusi momentum, sehingga akan mendorong pertukaran aliran yang menghasilkan peningkatan nilai kecepatan di outlet.

Velocity contour bilangan Reynolds $2,29 \times 10^4$





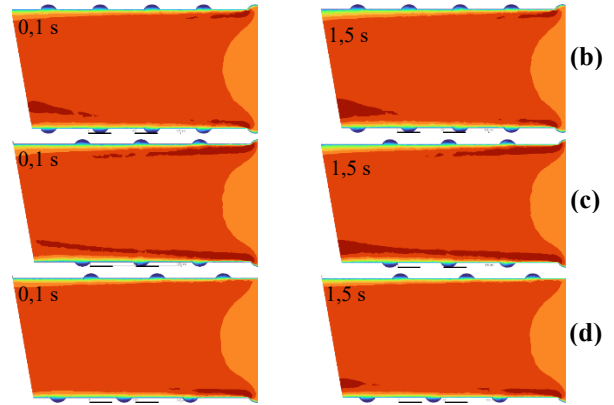
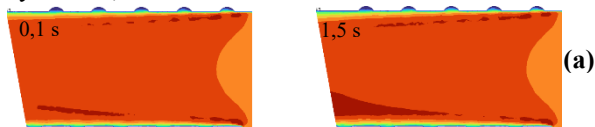
Gambar 9. *Velocity contour* pada rasio s/D (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; dan (d) 1,8 pada bilangan $Reynolds$ $2,29 \times 10^4$



Gambar 10. Kurva *velocity average* di *outlet* pada bilangan $Reynolds$ $2,29 \times 10^4$ di masing-masing rasio s/D . Menurut hasil simulasi variasi rasio s/D pada bilangan Re $2,29 \times 10^4$ dengan kecepatan *inlet* 11,11 m/s memberikan dampak pada distribusi kecepatan di *intake manifold*. Pada rasio s/D 1,2, kontur kecepatan tinggi di bagian *outlet* terlihat paling luas dibandingkan variasi lainnya, sekaligus menghasilkan *velocity average outlet* tertinggi sebesar 11,57 m/s. Ketika rasio s/D diperbesar hingga 1,4; 1,6; dan 1,8, terjadi penyempitan kontur kecepatan tinggi di *outlet* dan penurunan *velocity average outlet* juga.

Fenomena tersebut dipengaruhi oleh kerapatan *dimple* pada rasio s/D kecil, sehingga interaksi antara aliran dan permukaan terjadi lebih sering. Interaksi tersebut memicu terbentuknya *vortex* yang kemudian memperkuat turbulensi, sebagaimana dijelaskan oleh Zhou *et al.*, (2016). Pada Re yang lebih tinggi, momentum aliran turut meningkat, sehingga efek interaksi ini menjadi lebih kuat. Turbulensi yang terbentuk menyebabkan fluktuasi kecepatan yang lebih intens yang mendorong redistribusi momentum di dalam aliran seperti konsep *Reynolds stress* (White, 2011). Dapat disimpulkan rasio s/D 1,2 unggul dalam konteks kontur kecepatan tinggi dan *velocity average outlet* paling tinggi.

Velocity contour kondisi transient pada bilangan $Reynolds$ $2,29 \times 10^4$

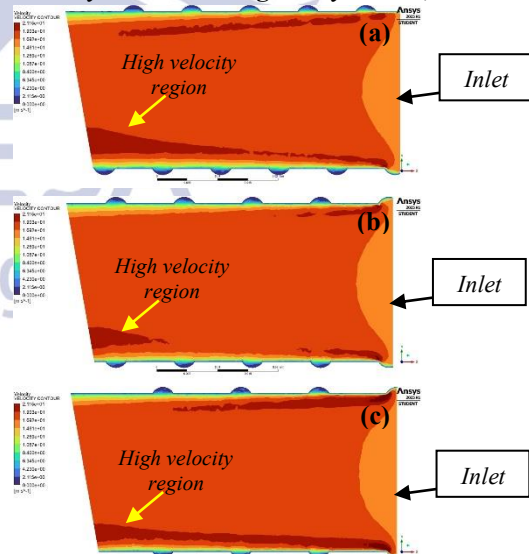


Gambar 11. *Velocity contour* timesteps 0,1 s dan 1,5 rasio s/D (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; (d) 1,8 pada bilangan $Reynolds$ $2,29 \times 10^4$

Perubahan waktu sangat mempengaruhi simulasi *transient* pada bilangan Re saat ini. Sebagaimana dapat dilihat pada ts 0,1 s distribusi kecepatan sedang dalam tahap perkembangan awal, terdapat kontur kecepatan tinggi dengan intensitas minim di rasio s/D 1,2-1,6. Ketika ts 1,5 s, kontur kecepatan tinggi terlihat dengan jelas di semua rasio, menandakan aliran lebih berkembang.

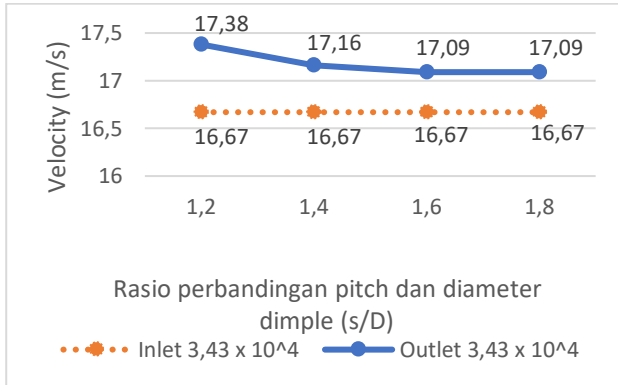
Mekanisme *dimple* dan interaksi aliran yang membutuhkan waktu untuk berkembang menyebabkan fenomena tersebut terjadi. Dalam waktu yang lebih besar (ts 1,5), pembangkitan turbulensi untuk menciptakan pertukaran momentum yang mendorong pemerataan distribusi kecepatan dapat berkembang lebih intens. Sehingga kontur kecepatan tinggi lebih terlihat dominan pada ts yang lebih tinggi.

Velocity contour bilangan $Reynolds$ $3,43 \times 10^4$





Gambar 12. Velocity contour pada rasio s/D (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; dan (d) 1,8 pada bilangan Reynolds $3,43 \times 10^4$

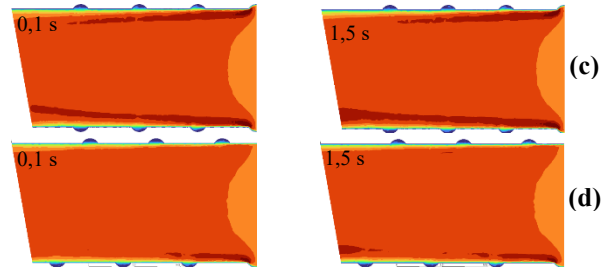
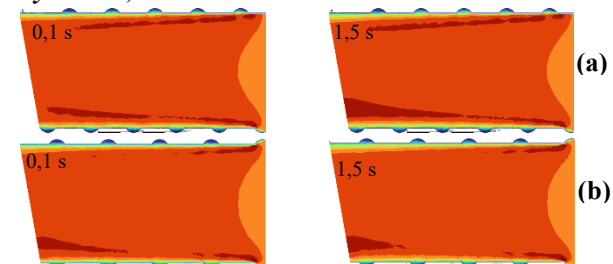


Gambar 13. Kurva velocity average di outlet pada bilangan Reynolds $3,43 \times 10^4$ di masing-masing rasio s/D

Simulasi variasi rasio s/D terbukti mempengaruhi distribusi kecepatan pada bilangan Re $3,43 \times 10^4$ di velocity inlet 16,67 m/s. Kontur kecepatan tinggi di outlet serta nilai velocity average outlet tertinggi dihasilkan oleh rasio 1,2 sebesar 17,38 m/s. Dan ketika rasio membesar hingga 1,8 juga terjadi penurunan kontur kecepatan tinggi dan velocity average outlet.

Kondisi tersebut tetap dipengaruhi oleh mekanisme *dimple* yang bekerja sangat baik di konfigurasi *dimple* rapat seperti rasio s/D 1,2 dalam pembentukan turbulensi. Pada Re yang lebih tinggi memperkuat pembentukan tersebut, sehingga pembangkitan turbulensi lebih signifikan. Turbulensi yang besar mengakibatkan redistribusi momentum juga bekerja lebih baik (White, 2011). Akibatnya, profil kecepatan lebih cepat mengalami penataan ulang dan menghasilkan distribusi yang lebih merata serta kecepatan yang lebih tinggi di bagian outlet. Sehingga pada Re ini, rasio 1,2 tetap unggul karena konfigurasi *dimple* yang rapat.

Velocity contour kondisi transient pada bilangan Reynolds $3,43 \times 10^4$

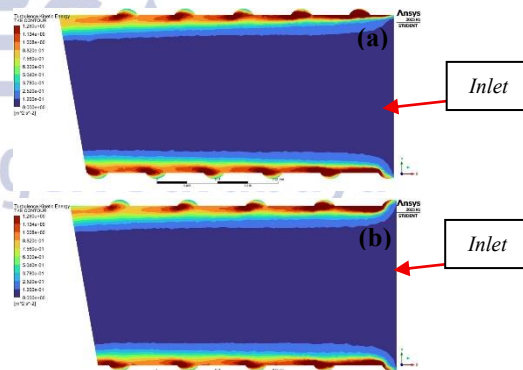


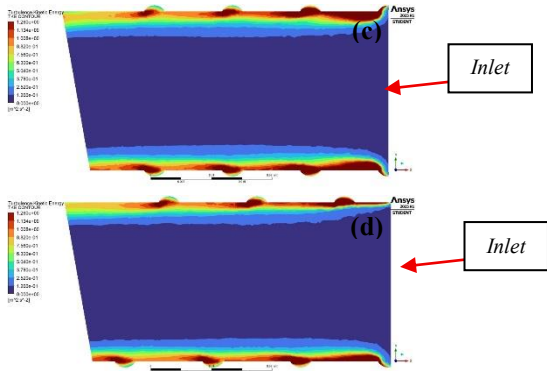
Gambar 14. Velocity contour timesteps 0,1 s dan 1,5 rasio s/D (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; (d) 1,8 pada bilangan Reynolds $3,43 \times 10^4$

Pada kondisi transient bilangan Reynolds $3,43 \times 10^4$, terlihat bahwa perkembangan aliran berlangsung cukup cepat sejak tahap awal. Pada ts 0,1 s, kontur kecepatan tinggi sudah mulai muncul di outlet untuk variasi s/D 1,2; 1,4; dan 1,6, meskipun belum sepenuhnya dominan. Ketika waktu meningkat menjadi ts 1,5 s, kontur kecepatan tinggi terbentuk secara menyeluruh pada seluruh variasi s/D . Pada tahap ini, perbedaan antar variasi terlihat lebih jelas, di mana s/D 1,2 menunjukkan kontur kecepatan tinggi paling di outlet, sedangkan pada rasio yang lebih besar luasan zona tersebut cenderung mengecil.

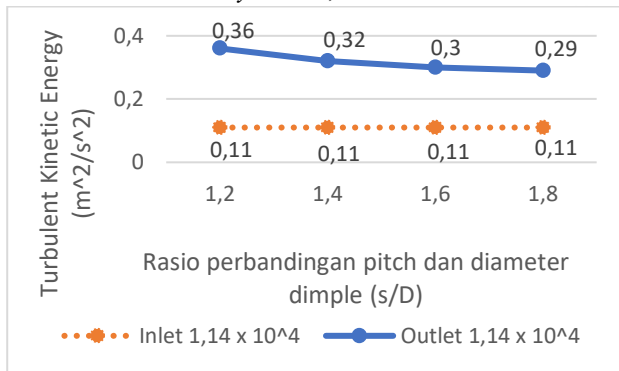
Perilaku tersebut menunjukkan ketika terjadi peningkatan Re , momentum aliran yang turut meningkat mempercepat perkembangan aliran dan memperkuat pengaruh mekanisme *dimple*. *Dimple* memicu terbentuknya vortex yang berkembang lebih cepat, sehingga proses turbulensi juga berlangsung lebih intens. Proses tersebut mendorong redistribusi momentum terjadi dalam waktu lebih singkat, alhasil profil kecepatan lebih cepat terstruktur dan perbedaan antar variasi s/D menjadi lebih jelas.

Turbulent kinetic energy contour bilangan Reynolds $1,14 \times 10^4$





Gambar 15. *Turbulent kinetic energy contour* pada rasio s/D (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; dan (d) 1,8 pada bilangan $Reynolds$ $1,14 \times 10^4$

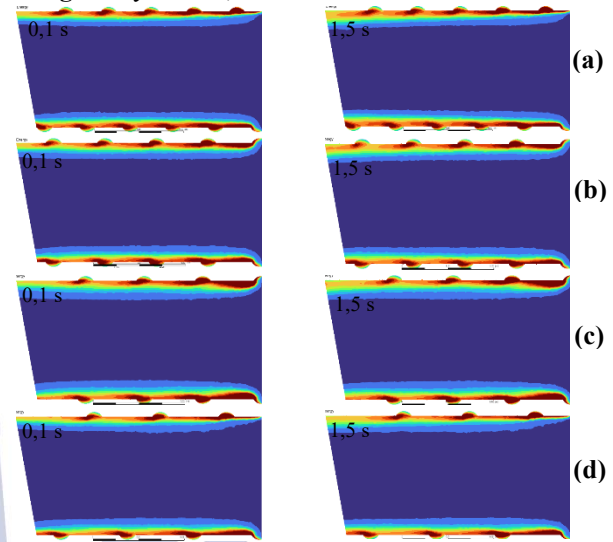


Gambar 16. Kurva *turbulent kinetic energy average* di *outlet* pada bilangan $Reynolds$ $1,14 \times 10^4$ di masing-masing rasio s/D

Merujuk dari hasil simulasi bilangan $Reynolds$ $1,14 \times 10^4$, kontur *Turbulent Kinetic Energy* (TKE) menampilkan perbedaan yang cukup jelas antar variasi rasio s/D . Pada s/D 1,2, kontur TKE tinggi berwarna merah terlihat paling dominan, di sekitar *inlet* dan sepanjang area dekat *dimple*, dengan penyebaran yang relatif merata hingga menuju *outlet* diimbangi dengan TKE *average outlet* yang paling tinggi dari semua variasi. Ketika rasio s/D diperbesar menjadi 1,4 hingga 1,8 intensitas TKE mulai berkurang dan penyebarannya tidak merata. Secara umum, semakin besar rasio s/D , energi turbulen di dalam saluran cenderung melemah.

Pola tersebut berkaitan dengan peran *dimple* sebagai turbulator yang memicu terbentuknya *vortex* Zhou *et al.*, (2016). Pada rasio s/D kecil, jumlah *dimple* yang banyak membuat interaksi antara aliran terjadi lebih sering, alhasil pembangkitan fluktuasi kecepatan berlangsung lebih intens yang berkontribusi pada peningkatan energi turbulen sekaligus mendorong terjadinya pertukaran momentum antar lapisan fluida (White, 2011). Maka dari itu, energi turbulen dapat tersebar lebih baik dan tidak terdispersi hingga mencapai bagian *outlet*.

Turbulent kinetic energy contour kondisi *transient* pada bilangan $Reynolds$ $1,14 \times 10^4$

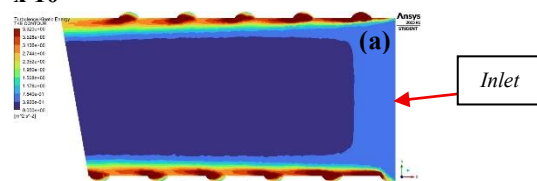


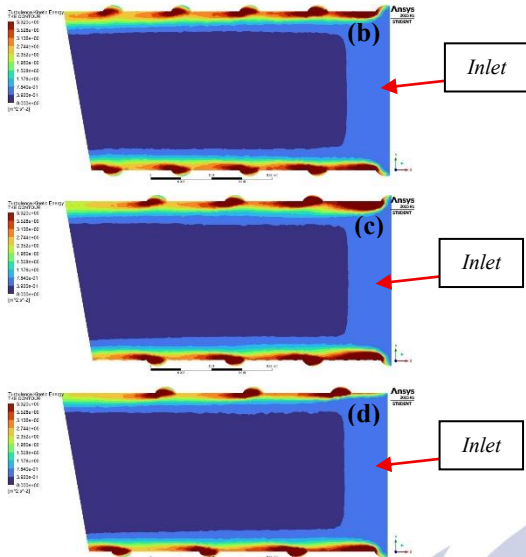
Gambar 17. *Turbulent kinetic energy contour* timesteps 0,1 s dan 1,5 rasio s/D (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; (d) 1,8 pada bilangan $Reynolds$ $1,14 \times 10^4$

Data yang diperoleh dari kondisi *transient* bilangan $Reynolds$ $1,14 \times 10^4$, menunjukkan perkembangan aliran yang dipengaruhi oleh waktu. Pada ts 0,1 s, kontur TKE tinggi tampak di sepanjang area *dimple*. Pada rasio s/D 1,2, kontur TKE tampak paling merata, dari *inlet* hingga *outlet* dibandingkan variasi lainnya. Ketika waktu meningkat menjadi ts 1,5 s, lapisan TKE dekat *outlet* menebal dan s/D 1,2 tetap menghasilkan distribusi TKE yang paling dominan dibandingkan variasi lainnya. Seiring meningkatnya bilangan rasio, terjadi penurunan kontur TKE dan nilai TKE *average*.

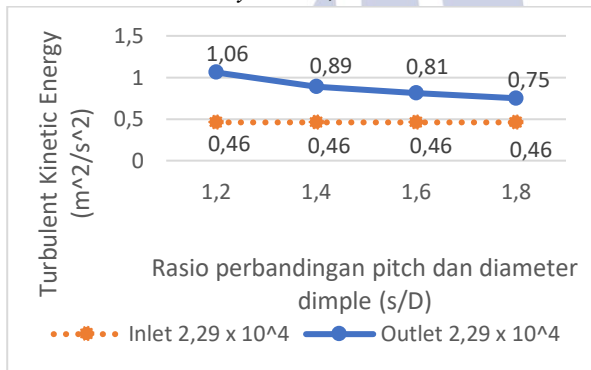
Pada fenomena tersebut menunjukkan bahwa pembentukan dan perkembangan turbulensi di dalam *intake* tidak terjadi instan, namun berkembang seiring waktu. *Dimple* berperan sebagai turbulator yang memicu terbentuknya *vortex* dan *shear layer*, menghasilkan fluktuasi kecepatan di dekat dinding. Pada rasio s/D yang lebih kecil, *dimple* yang banyak membuat interaksi antara aliran lebih intens, sehingga energi turbulen dapat terbentuk dan dipertahankan hingga *outlet*. Seiring bertambahnya waktu, turbulensi yang terbentuk menjadi lebih matang dan tidak terdispersi hingga ke *outlet*.

Turbulent kinetic energy contour bilangan $Reynolds$ $2,29 \times 10^4$





Gambar 18. *Turbulent kinetic energy contour* pada rasio s/D (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; dan (d) 1,8 pada bilangan Reynolds $2,29 \times 10^4$

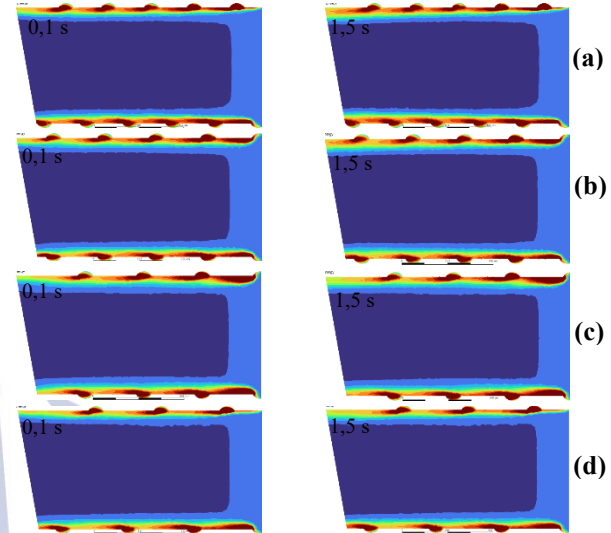


Gambar 19. Kurva *turbulent kinetic energy average* di outlet pada bilangan Reynolds $2,29 \times 10^4$ di masing-masing rasio s/D

Melalui simulasi bilangan Reynolds $2,29 \times 10^4$, kontur *Turbulent Kinetic Energy* (TKE) menunjukkan perbedaan antar variasi rasio s/D . Pada s/D 1,2, intensitas TKE terlihat paling tinggi dengan penyebaran yang relatif merata di sekitar *dimple* hingga *outlet*. TKE *average* di *outlet* juga menjadi yang terbesar dibandingkan variasi lainnya. Ketika rasio s/D ditingkatkan menjadi 1,4 hingga 1,8, intensitas TKE mulai berkurang dan penyebarannya tidak se-merata s/D 1,2. Secara umum, peningkatan rasio s/D diikuti penurunan kontur TKE dan nilai TKE *average*.

Hasil tersebut dipengaruhi jumlah *dimple* yang lebih banyak pada s/D kecil sebagai turbulator yang memicu terbentuknya *vortex* dan *shear layer* (Zhou et al., 2016). Pada Re menengah, momentum aliran yang lebih besar memperkuat interaksi dan produksi energi turbulen meningkat. Selain itu, Re yang lebih tinggi turut memperkuat pertukaran momentum antar lapisan fluida, sebagaimana dijelaskan dalam konsep *Reynolds stress* (White, 2011). Akibatnya, energi turbulen lebih besar dan terdistribusi merata.

Turbulent kinetic energy contour kondisi transient pada bilangan Reynolds $2,29 \times 10^4$

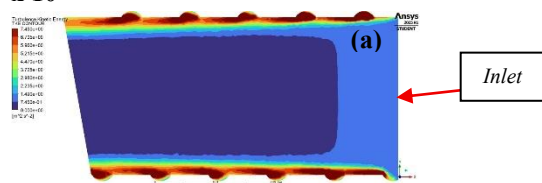


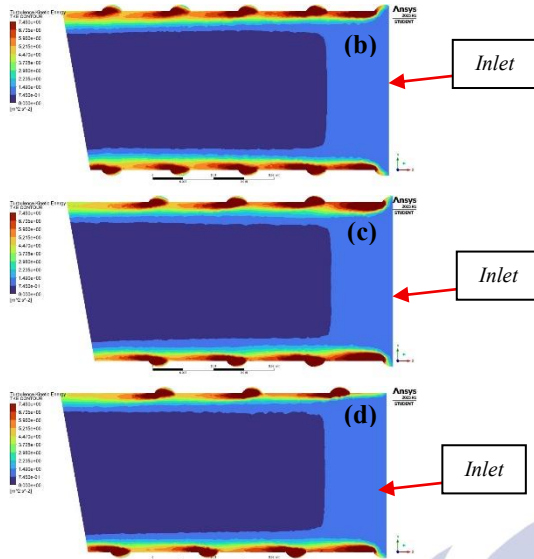
Gambar 20. *Turbulent kinetic energy contour timesteps* 0,1 s dan 1,5 rasio s/D (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; (d) 1,8 pada bilangan Reynolds $2,29 \times 10^4$

Dalam simulasi *transient* bilangan Reynolds $2,29 \times 10^4$, kontur *Turbulent Kinetic Energy* (TKE) menunjukkan perkembangan seiring waktu. Pada ts 0,1 s, kontur turbulensi juga muncul di bagian tengah *inlet*. Pada variasi s/D 1,2 dan 1,4, distribusi TKE tinggi terlihat relatif merata dari *inlet* ke *outlet*. Sebaliknya, pada s/D 1,6 dan 1,8, zona TKE tinggi cenderung terdispersi. Ketika waktu meningkat menjadi ts 1,5 s, pola distribusi relatif seragam, hanya terjadi penebalan kontur TKE di *outlet*. Pada kondisi ini, s/D 1,2 dan 1,4 tetap menunjukkan tren yang seragam.

Hasil ini menunjukkan bahwa pada Re menengah, pembentukan turbulensi berkembang lebih cepat. Peran *dimple* sebagai turbulator mendorong terbentuknya *vortex* dan *shear layer* yang semakin kuat, sehingga fluktuasi kecepatan tidak hanya terjadi di dekat permukaan, tetapi juga menjalar ke bagian inti aliran. Seiring bertambahnya waktu, interaksi ini semakin intens dan memperkuat proses pembangkitan energi turbulen. Kondisi ini membuat distribusi TKE menjadi lebih merata, terutama pada konfigurasi jarak *dimple* yang lebih rapat.

Turbulent kinetic energy contour bilangan Reynolds $3,43 \times 10^4$





Gambar 21. *Turbulent kinetic energy contour* pada rasio *s/D* (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; dan (d) 1,8 pada bilangan *Reynolds* $3,43 \times 10^4$



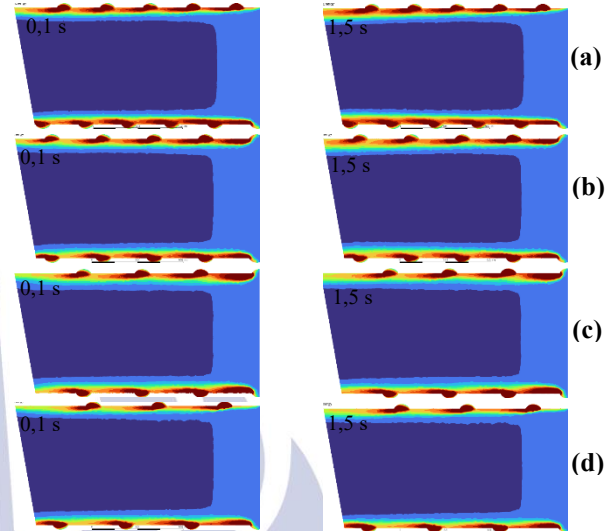
Gambar 22. Kurva *turbulent kinetic energy average* di *outlet* pada bilangan *Reynolds* $3,43 \times 10^4$ di masing-masing rasio *s/D*

Pada bilangan *Reynolds* $3,43 \times 10^4$, kontur *Turbulent Kinetic Energy* (TKE) menunjukkan peningkatan intensitas dibandingkan *Re* yang lebih rendah. Pada rasio *s/D* 1,2, kontur TKE tinggi terlihat paling dominan sepanjang saluran, dengan penyebaran yang relatif merata hingga ke *outlet*. TKE *average* di *outlet* pada kondisi ini juga yang tertinggi dibandingkan rasio lainnya. Ketika rasio *s/D* diperbesar menjadi 1,4 hingga 1,8, intensitas TKE mulai berkurang dan distribusinya tidak semerata *s/D* 1,2. Secara umum, peningkatan jarak antar *dimple* diikuti dengan penurunan intensitas dan penyebaran TKE di sepanjang saluran.

Pada rasio *s/D* kecil, jumlah *dimple* yang lebih banyak meningkatkan pembentukan *vortex* dan *shear layer*, sehingga pembentukan turbulensi menjadi lebih intens akibat interaksi antar aliran. Pada *Re* tinggi, momentum aliran yang besar memperkuat interaksi ini, sehingga produksi energi turbulen menjadi lebih signifikan. Turbulensi yang juga tinggi menyebabkan pertukaran momentum menjadi lebih baik sesuai dengan prinsip

Reynolds stress (White, 2011). Sehingga energi turbulen tidak hanya meningkat, tetapi juga dapat dipertahankan hingga mencapai *outlet*.

Turbulent kinetic energy contour kondisi transient pada bilangan *Reynolds* $3,43 \times 10^4$



Gambar 23. *Turbulent kinetic energy contour timesteps* 0,1 s dan 1,5 rasio *s/D* (a) 1,2; (b) 1,4; (c) 1,6; (d) 1,8 pada bilangan *Reynolds* $3,43 \times 10^4$

Dalam hasil simulasi *transient* bilangan *Reynolds* $3,43 \times 10^4$, kontur *Turbulent Kinetic Energy* (TKE) menunjukkan perkembangan aliran yang cepat sejak awal. Pada ts 0,1 s, kontur TKE juga terbentuk di area *inlet* dan semakin meluas dibandingkan *Re* sebelumnya. Untuk variasi *s/D* 1,2, distribusi TKE tinggi terlihat cukup merata dan memanjang sepanjang dinding dari *inlet* hingga *outlet*. Sementara itu, pada *s/D* 1,4 hingga 1,8, kontur TKE tinggi cenderung menurun. Ketika waktu meningkat ke ts 1,5 s, pola distribusi masih mempertahankan tren yang sama, namun intensitas TKE terlihat semakin kuat dengan menebalnya kontur di area *outlet*. Pada kondisi ini, variasi *s/D* 1,2 tetap menunjukkan distribusi TKE yang paling dominan dibandingkan variasi lainnya.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada *Reynolds* tinggi, pembentukan turbulensi berlangsung semakin cepat dan lebih kuat sejak awal aliran berkembang. *Dimple* berfungsi sebagai pemicu terbentuknya *vortex* dan *shear layer* yang menghasilkan fluktuasi kecepatan dengan intensitas tinggi. Pada rasio *s/D* yang lebih kecil, interaksi antara aliran dan permukaan terjadi lebih intens, sehingga pembangkitan energi turbulen menjadi lebih efektif. Seiring bertambahnya waktu, turbulensi yang terbentuk semakin berkembang dan menyebar ke seluruh penampang aliran. Selain itu, fluktuasi kecepatan yang tinggi juga memperkuat pertukaran momentum antar lapisan fluida dan meminimalisir terjadinya disipasi.

Simpulan

1. Variasi rasio (s/D) mempengaruhi distribusi kecepatan di dalam *intake manifold*. Dalam 3 bilangan *Reynolds* ($1,14 \times 10^4$; $2,29 \times 10^4$; dan $3,43 \times 10^4$), rasio s/D 1,2 konsisten mendominasi, menghasilkan kontur kecepatan tinggi yang dominan serta nilai *velocity average* di *outlet* yang paling tinggi dari semua variasi rasio s/D .
2. Variasi rasio (s/D) mempengaruhi intensitas turbulensi di dalam *intake manifold*. Mengacu hasil simulasi di tiga bilangan *Reynolds* ($1,14 \times 10^4$; $2,29 \times 10^4$; dan $3,43 \times 10^4$), rasio s/D 1,2 konsisten menghasilkan nilai *Turbulent Kinetic Energy* (TKE) *average* dan kontur TKE tinggi di *outlet* yang paling tinggi dibandingkan variasi lainnya.

Saran

1. Guna memperoleh hasil simulasi yang lebih baik, diharapkan bisa mencapai konvergensi yang lebih tinggi di angka $1e-06$ pada saat proses simulasi.
2. Bagi peneliti berikutnya, diharapkan untuk melakukan perhitungan *time steps size* yang akan digunakan saat akan simulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidi, S. H., & Hasan, M. M. (2021). *Variation Of Turbulent Kinetic Energy Due To Dimples In Intake Manifold For Diesel Engine. Case Studies in Thermal Engineering*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101299>
- Badan Pusat Statistika. (2023). Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Provinsi Dan Jenis Kendaraan (unit), 2023. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/3/VjJ3NGRGa3dkRk5MTIU1bVNFOTVVb mQyVURSTVFUMDkjMw==/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-provinsi-dan-jenis-kendaraan--unit---2023.html?year=2023>
- Badan Pusat Statistika. (2023). Produksi Minyak Bumi Dan Gas Alam, 1996-2023. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTA5MiMx/produksi-minyak-bumi-dan-gas-alam--1996-2023.html>
- Fan, Q., & Yin, X. (2008). 3-D Numerical Study On The Effect Of Geometrical Parameters On Thermal Behavior Of Dimple Jacket In Thin-Film Evaporator. *Applied Thermal Engineering*, 28(14–15), 1875–1881. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.11.024>
- Khoir, M. (2014). Pengaruh Penggunaan *Turbo Cyclone* Dan Busi Iridium Terhadap Performa Sepeda Motor. *Jurnal Teknik Mesin*, 02.
- Oktaviastuti, B., Handika, D., & Wijaya, S. (2017). Urgensi Pengendalian Kendaraan Bermotor Di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Madura*, 2(1). <http://www.who.int>,
- Rahman, F., & Wailanduw, A. G. (2023). Simulasi Numerik Pengaruh Model *Screw* Pada Saluran *Intake Manifold* Sepeda Motor. *Jurnal Teknik Mesin*, 12.
- Susilawati, E., As, A., Raharja, M., Kemenkes, P., Jurusan, B., Lingkungan, K., Mistar Cokrokusumo, J. H., 1a, N., & Selatan, B. K. (2018). Perbandingan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) Pada Kendaraan Bermotor Sistem Injeksi. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(1). <https://ejournal.kesling-poltekkesbjm.com/index.php/JKL/article/view/78>
- White, F. M. (2011). *Fluid Mechanics (Seventh edition)*. McGraw Hill.
- Widiyanti. (2018). Analisis Penjualan Sepeda Motor Yamaha Pada PT. Sentral Yamaha Pekanbaru. *Jurnal Ilmu Komputer dan Bisnis*, 9. <https://www.neliti.com/publications/327064/analisis-penjualan-sepeda-motor-yamaha-pada-pt-sentral-yamaha-pekanbaru#id-section-content>
- Zhou, W., Rao, Y., & Hu, H. (2016). *An Experimental Investigation On The Characteristics Of Turbulent Boundary Layer Flows Over A Dimpled Surface. Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 138(2). <https://doi.org/10.1115/1.4031260>