

STUDI EKSPERIMENTAL DAN NUMERIKAL TENTANG PENGARUH SUDUT PUTAR PADA TINGKAT IRISAN SILINDER SIRKULER TERHADAP GAYA *DRAG* DAN GAYA *LIFT*

Astu Pudjanarsa, Muhamad Jamaaludin Ayub

Jurusan Teknik Mesin FTI – ITS
Jl. Arief Rahman Hakim Keputih – Sukolilo Surabaya 60111
Email: astu@me.its.ac.id

Abstrak

Semakin banyaknya aplikasi ilmu mekanika fluida dalam dunia industri menuntut untuk terus dikembangkannya penelitian dibidang ini. Penggunaan instalasi-instalasi pada dunia industri, banyak yang memanfaatkan aliran eksternal dimana aliran yang melewatinya tegak lurus adalah pipa model penyangga bangunan lepas pantai yang terbuat dari beton bertulang yang berbentuk silinder, pipa-pipa penukar panas, tiang-tiang listrik, ataupun cerobong asap dalam dunia industri. Besarnya gaya *drag* yang terjadi pada benda-benda tersebut akan berkurang bila dilakukan pengirisan pada silinder tegak lurus terhadap arah aliran. Dalam kenyataan aliran tidaklah selalu tegak lurus terhadap arah aliran, sehingga timbul gaya *lift*. Untuk itu dilakukan penelitian tentang pengaruh sudut putar pada tingkat irisan silinder terhadap gaya *drag* dan gaya *lift*.

Penelitian kali ini dilakukan untuk meneruskan dan melengkapi penelitian sebelumnya, yaitu dilakukan dengan cara uji ekperimental serta numerik terhadap silinder teriris tipe-D (dengan sudut iris, $\theta_s = 35^\circ, 45^\circ, 53^\circ, 60^\circ, 65^\circ$) dan variasi sudut serang (*angle of attack*, $\alpha = 45^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ$). Penelitian secara eksperimental dilakukan di dalam terowongan angin untuk mendapatkan koefisien tekanan. Koefisien *drag* (C_D) dan koefisien *lift* (C_L) dihitung secara numerik dari distribusi tekanan (C_p). Pengujian ini dilakukan pada bilangan Reynolds sebesar $5,3 \times 10^4$.

Dari hasil eksperimen dan numerik yang dilakukan didapatkan, pada sudut iris kecil telah terjadi separasi *bubble*, dan dengan kenaikan sudut putar *bubble* yang terjadi akan semakin besar. Hasil pengujian eksperimental maupun numerik yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai koefisien *drag* akan turun seiring dengan kenaikan sudut putar, namun sebaliknya nilai koefisien *lift* akan naik. Koefisien *drag* terbesar pada hasil eksperimen dan numerik diperoleh pada silinder dengan sudut pengirisan ($\theta_s = 35^\circ$) pada sudut putar ($\alpha = 45^\circ$), sedangkan nilai koefisien *drag* terkecil pada sudut pengirisan ($\theta_s = 65^\circ$) dengan sudut putar ($\alpha = 65^\circ$). Nilai koefisien *lift* terkecil dari hasil eksperimen dan numerik diperoleh pada silinder dengan sudut pengirisan ($\theta_s = 35^\circ$) dengan sudut putar ($\alpha = 45^\circ$), sedangkan nilai koefisien *lift* terbesar diperoleh pada sudut pengirisan ($\theta_s = 35^\circ$) dengan sudut putar ($\alpha = 65^\circ$) pada eksperimen, sedangkan pada hasil numerik C_L terbesar didapatkan pada sudut iris ($\theta_s = 53^\circ$) dengan sudut putar ($\alpha = 65^\circ$).

Keywords: sudut iris, sudut putar, koefisien tekanan (C_p ,) koefisien *drag* (C_D), koefisien *lift* (C_L).

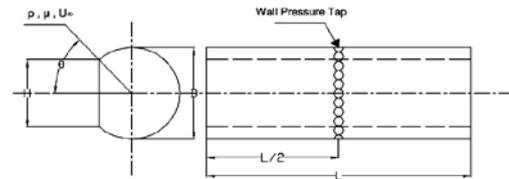
Pendahuluan

Suatu benda yang berada pada posisi tegak lurus terhadap arah aliran (*bluff bodies*) akan mengalami gaya drag yang besar, untuk memperkecil gaya ini dapat dilakukan dengan mengontrol lapisan batas aliran, sehingga memperlambat terjadinya separasi aliran dan memperkecil daerah *wake*. Mengontrol lapisan batas dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya menambah kekasaran permukaan pada benda lengkung, atau dengan memberikan tambahan momentum pada aliran fluida. Untuk aliran melintasi silinder atau bola beberapa penelitian membuktikan bahwa pengirisan beberapa derajat dari permukaan silinder, sehingga bodi yang terbentuk terdiri dari

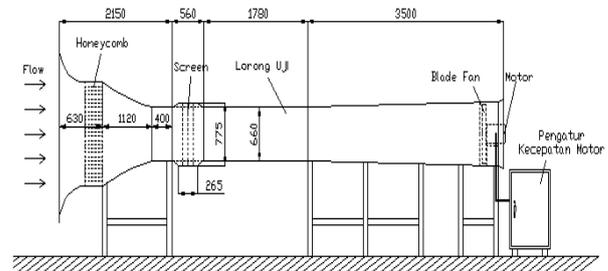
permukaan datar dan lengkung akan mengurangi gaya *drag* yang terjadi.

Sampai saat ini telah banyak studi atau penelitian yang bertujuan mengurangi gaya hambat dinamis (*dynamic drag*) yang besar akibat dari separasi aliran melintasi silinder dengan cara melakukan pengirisan pada permukaan tegak lurus aliran (*Aiba dan Watanabe, 1997*), dalam penelitian tersebut didapatkan harga C_d mengalami penurunan hingga pada pengirisan 53° dan kemudian berangsur-angsur naik pada pengirisan yang lebih besar lagi, begitu juga pada penelitian (*Igarashi dan Shiba 2006*) dengan mengubah penampang silinder menjadi silinder teriris tipe-D dan tipe-I dengan harapan bahwa letak dari titik

separasi bisa ditunda kebelakang sehingga akan memperkecil gaya drag. Penelitian untuk mengetahui gaya drag, gaya lift, yang terjadi pada silinder dengan berbagai tingkat pengirisan dan variasi sudut putar juga telah dilakukan oleh Astu Pudjanarsa, Herman Sasongko dan Burhan Adiguna, (2010). Mereka membuktikan bahwa dengan sudut putar ($\alpha > 0^\circ$) aliran melintasi silinder teriris tipe-D memberikan gaya lift pada silinder. Penambahan sudut putar untuk sudut pengirisan tertentu cenderung memperbesar gaya lift. Dengan sudut putar tertentu, sudut pengirisan yang lebih besar memberikan gaya lift yang lebih besar. Ketidaksimetrisan lokasi terjadinya separasi aliran antara *upper side* dan *lower side* cenderung menghasilkan gaya aksial ke arah vertikal telah menyumbang kenaikan gaya lift. Terutama untuk sudut pengirisan ($\theta = 75^\circ$). Hal ini telah memberikan penurunan terhadap gaya drag. Namun demikian untuk sudut putar yang besar ($\alpha > 45^\circ$) berkurangnya perbedaan tekanan antara *lower side* dan *upper side* cenderung kembali mengurangi gaya lift yang terjadi.



Gambar 1 Profil benda uji



Gambar 2 Model benda uji dalam wind tunnel

Bilangan Reynolds Pengujian

Bilangan Reynolds pengujian diatur hingga mencapai $5,3 \times 10^4$. Bilangan ini berbasis diameter silinder:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Metode Penelitian

Analisa Dimensi Untuk Koefisien Drag, Koefisien Lift, dan Koefisien Tekanan Yang Melintasi Silinder Utama

Dengan menggunakan *Buckingham Pi Theorema*, didapat grup tak berdimensi yaitu sebagai berikut:

$$\frac{F_D}{\rho V^2 L D} = f\left(\frac{\mu}{\rho V D}, \frac{h}{D}, \frac{L}{D}, \frac{t}{D}\right)$$

$$\frac{F_L}{\rho V^2 L D} = f\left(\frac{\mu}{\rho V D}, \frac{h}{D}, \frac{L}{D}, \frac{t}{D}\right)$$

Eksperimen dilakukan dengan harga L/D tetap dan H/D dan t/D (sudut iris dan sudut putar) yang divariasikan dan pada angka Reynolds yang tetap, sehingga $C_D = f(\alpha, \theta_s)$ dan $C_L = f(\alpha, \theta_s)$.

Dengan mengubah parameter $\pi_1 = \frac{F_L}{\rho V^2 L D}$ menjadi $\pi_1 = \frac{\Delta p}{\rho U_\infty^2}$ (koefisien tekanan) dan parameter yang lain tetap, dari hasil analisa didapatkan untuk koefisien tekanan didapatkan $C_p = f(\alpha, \theta_s)$.

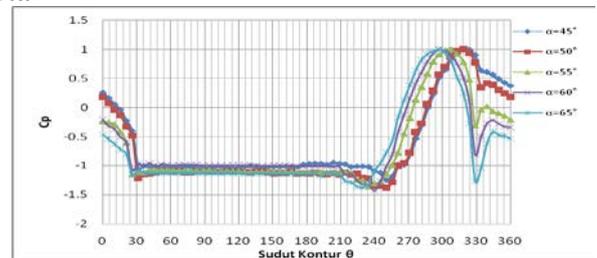
Model Benda Uji

Dalam penelitian ini digunakan benda uji yang memiliki profil dan dimensi sebagai berikut :

- Diameter (d) : 60 mm
- Panjang (L) : 600 mm
- Pressure tap : 72 lubang, berjarak 5° mengelilingi silinder
- Static pressure tap : dipasang pada benda uji
- Sudut iris (θ_s) : $35^\circ, 45^\circ, 53^\circ, 60^\circ, 65^\circ$
- Bahan : Pipa PVC

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Aliran Fluida Melintasi Silinder Tipe D dengan Sudut Iris ($\theta_s = 35^\circ$) dan Variasi Sudut Putar



Gambar 3 Grafik $C_p = f(\theta)$ hasil eksperimen untuk berbagai sudut putar (α) pada silinder tipe-D pada sudut iris ($\theta_s = 35^\circ$)

Gambar 3 menunjukkan distribusi Cp pada permukaan atas dan bawah pada silinder teriris sebesar ($\theta_s = 35^\circ$) untuk hasil eksperimen, dengan kecepatan konstan untuk variasi sudut putar ($\alpha = 45^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ$). Terlihat secara umum bahwa distribusi koefisien tekanan antara silinder bagian atas (*upper side*) dan bawah (*lower side*) tampak tidak simetris. Hal ini dikarenakan adanya sudut putar. Terlihat secara umum bahwa semakin besar sudut putar (α), separasi *massive* aliran pada permukaan bawah akan semakin maju dimana separasi lebih cepat terjadi pada bagian bawah, sedang untuk bagian atas silinder, titik separasi *massive* semakin mundur tertunda ke belakang. Hal ini disebabkan karena sudut pengirisan ($\theta_s = 35^\circ$). Sudut pengirisan ini akan menyebabkan terjadinya defleksi aliran (akibat bidang irisan). Defleksi aliran akan menimbulkan

terjadinya tumbukan momentum antara aliran terdefleksi dengan momentum aliran dari arah *mainstream*. Meskipun pada sudut putar yang kecil, momentum aliran terdefleksi ke bagian atas dan bawah tidak terlalu besar namun akan memberikan kontribusi untuk mengatasi *adverse pressure gradient*. Sudut iris yang relatif kecil menyebabkan terjadinya gangguan aliran dari arah *mainstream*, baik aliran yang terdefleksikan ke arah bawah maupun atas, dimana aliran ini akan mempengaruhi pergeseran dari letak titik separasi.

Pada grafik $C_p = f(\theta)$ eksperimen pada sudut pengirisan ($\theta_s = 35^\circ$) dengan variasi sudut putar, letak titik stagnasi tidak berada pada luasan bidang pengirisan namun terletak pada bidang lengkung silinder. Dari Gambar 3 terlihat bahwa letak titik stagnasi akan semakin maju seiring bertambahnya sudut putar (α) yang semakin besar, terlihat bahwa pada sudut putar ($\alpha = 45^\circ$) letak titik stagnasi terletak pada ($\theta = 318^\circ$), pada sudut putar ($\alpha = 55^\circ$) letak titik stagnasi terletak pada ($\theta = 307^\circ$) sedangkan pada sudut putar ($\alpha = 65^\circ$) letak titik stagnasi terletak pada ($\theta = 297^\circ$), hal ini akan mempengaruhi besarnya massa dan juga momentum aliran yang akan didefleksikan ke bagian atas silinder dan bagian bawah silinder

Pada sudut putar yang semakin besar terlihat bahwa titik separasi pada bagian bawah (*lowerside*) silinder akan semakin maju, pada silinder dengan sudut putar ($\alpha = 45^\circ$) titik separasi *massive* terjadi pada ($\theta = 46^\circ$), pada sudut putar ($\alpha = 50^\circ$) titik separasi *massive* terjadi lebih maju pada ($\theta = 41^\circ$), pada sudut putar ($\alpha = 60^\circ$) titik separasi *massive* pada ($\theta = 36^\circ$), kemudian letak titik separasi kembali lebih maju pada sudut putar ($\alpha = 65^\circ$), dimana titik separasi *massive* terjadi pada ($\theta = 31^\circ$). Fenomena ini dimungkinkan terjadi karena semakin besar sudut putar (α) maka arah aliran yang terdefleksi ke bagian bawah silinder menjadi cenderung menjadi lebih searah dengan aliran dari arah *freestream*.

Pada bagian atas silinder, aliran mengalami percepatan mulai dari titik stagnasi hingga mencapai kecepatan maksimumnya, hal ini ditunjukkan dengan adanya penurunan pada grafik C_p , dimana akselerasi aliran ini dikarenakan terjadinya penyempitan penampang *streamtube*. Setelah mencapai titik maksimumnya penampang *streamtube* akan membesar kembali dimana fluida akan mengalami kenaikan tekanan dan kecepatan aliran akan mengalami perlambatan. Hal ini karena adanya efek dari *adverse pressure gradient* dan karena adanya gaya geser. Ketika momentum fluida berkurang secara terus menerus akibat gaya tekan dan gaya geser maka semakin lama aliran fluida tersebut akan diperlambat sampai diam dimana *gradient* kecepatan menjadi nol. Pada saat momentum aliran sudah tidak mampu lagi mengatasi *adverse pressure*

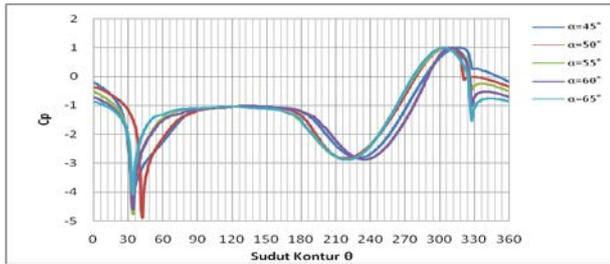
gradient dan gaya geser maka aliran akan terpisah dari permukaan kontur dimana titik terpisahnya aliran dari kontur ini dinamakan titik separasi.

Pada grafik $C_p = f(\theta)$ eksperimen pada bagian atas silinder separasi *massive* yang terjadi juga cenderung semakin maju sehingga letak titik separasi lebih tertunda ke belakang pada bagian atas silinder seiring bertambahnya sudut putar. Pada sudut putar ($\alpha = 45^\circ$), titik separasi terletak pada ($\theta = 234^\circ$), pada sudut putar ($\alpha = 50^\circ$), titik separasi terletak pada ($\theta = 224^\circ$), pada sudut putar ($\alpha = 55^\circ$), titik separasi terletak pada ($\theta = 219^\circ$), sedangkan pada sudut putar ($\alpha = 60^\circ$ dan 65°), titik separasi terletak pada ($\theta = 208^\circ$). Semakin majunya letak dari separasi bagian atas dari silinder ini seiring dengan majunya letak dari titik stagnasi dari tiap – tiap variasi irisan. Aliran yang terdefleksi ke bagian atas silinder bertumbukan dengan aliran dari arah *mainstream*, membuatnya lebih cepat turbulensi dan mampu membuat separasi di bagian atas menjadi lebih tertunda ke belakang.

Aliran mempunyai kecenderungan untuk mengikuti kontur silinder, tetapi dengan adanya perubahan kontur yang mendadak karena pengirisan maka aliran akan terlepas dari kontur (separasi) dan karena adanya penambahan momentum dari aliran bebas (*freestream*) maka aliran akan kembali mengikuti kontur lagi (*reattachment*). Proses terpisahnya aliran dari kontur dan kemudian kembali mengikuti kontur ini dinamakan *bubble separation*. Pada Gambar 3 terlihat bahwa letak titik stagnasi semakin bergeser ke atas seiring bertambahnya sudut putar (α). Pada grafik $C_p = f(\theta)$ eksperimen pada sudut pengirisan ($\theta_s = 35^\circ$) dengan kenaikan sudut putar ($\alpha = 45^\circ$) tidak terlihat adanya *bubble separation*, pada sudut putar yang semakin besar terlihat bahwa terbentuk adanya *bubble separation*, terlihat bahwa pada sudut putar ini telah terjadi *bubble separation*, pada, terlihat adanya penurunan C_p secara tiba-tiba, dimana aliran terseparasi dan kemudian akibat adanya momentum aliran dari *freestream* maka aliran akan mengikuti kontur kembali (*reattachment*), seiring bertambahnya sudut putar (α), maka *bubble separation* yang terjadi akan semakin besar, dimana *bubble separation* terbesar didapatkan pada ($\alpha = 65^\circ$). Seperti dibahas sebelumnya bahwa letak titik stagnasi akan semakin maju seiring semakin besarnya sudut putar (α), sehingga akan memperbesar daerah aliran yang menuju ke arah bawah silinder, hal ini akan memperbesar massa dan momentum aliran yang menuju arah bawah silinder yang bertumbukan dengan aliran dari arah *freestream*, sehingga lebar dari *bubble separation* akan semakin besar.

Fenomena dari *bubble separation* dapat dilihat dari hasil visualisasi dari hasil numerik, terlihat bahwa terjadi *bubble separation* pada aliran yang terdefleksi ke bagian bawah silinder, dimana terlihat

adanya aliran balik antara daerah separasi dan *reattachment*.



Gambar 4 Grafik $C_p = f(\theta)$ hasil numerik untuk berbagai sudut putar (α) pada silinder tipe-D pada sudut iris ($\theta_s 35^\circ$)

Dari Gambar 4 terlihat bahwa pada grafik penelitian secara numerik memiliki tren yang sama dengan grafik pada hasil penelitian eksperimen, namun memiliki nilai distribusi tekanan yang sedikit berbeda. Hal ini dikarenakan pengambilan jumlah titik yang berbeda. Pada penelitian secara eksperimental menggunakan *pressure tap* dan jaraknya lebih renggang daripada *grid* yang digunakan pada penelitian secara numerik, sehingga grafik hasil pemodelan numerik yang diperoleh lebih halus dibanding dengan hasil eksperimen. Pada grafik $C_p = f(\theta)$ yang didapatkan secara numerik terlihat bahwa *bubble separation* terjadi sejak sudut putar ($\alpha = 35^\circ$) sampai dengan ($\alpha = 65^\circ$), hal ini dimungkinkan karena jumlah titik pada silinder pada pemodelan numerik jauh lebih rapat bila dibandingkan dengan benda uji.

Pada Gambar 4 nilai dari $C_{p_{min}}$ pada silinder bagian bawah juga jauh berbeda, begitu juga dengan harga $C_{p_{min}}$ pada bagian silinder bagian atas. Lokasi titik separasi *massive* pada silinder bagian bawah serta atas dari hasil numerik juga berbeda dari hasil eksperimen, sehingga lebar dari wake yang diprediksi oleh pemodelan numerik lebih kecil dibandingkan dengan hasil eksperimen.

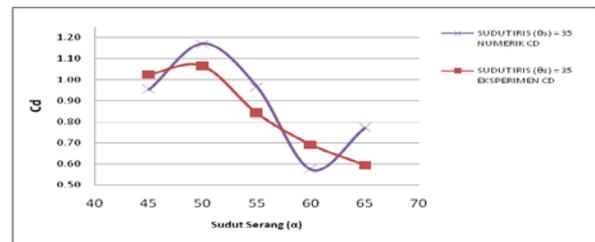
Tinjauan Koefisien Drag (C_d) dan Koefisien Lift (C_l) Silinder dengan Sudut Iris ($\theta_s = 35^\circ$) dan Variasi Sudut Putar

Secara umum kenaikan sudut putar pada tingkat pengirisan yang tetap cenderung memperluas permukaan bagian atas (*upper side*) silinder dan memperkecil luas permukaan bagian bawah (*lower side*) silinder yang dilingkupi aliran, dimana hal ini akan berpengaruh terhadap gaya *drag* dan gaya *lift* yang terjadi.

Gambar 5 dan 6 menunjukkan perbandingan antara koefisien *drag* dan koefisien *lift* hasil eksperimen dan numerik. Dari gambar dapat dilihat bahwa koefisien *drag* baik eksperimen maupun numerik memiliki tren yang hampir sama yaitu semakin besar sudut putar dengan sudut iris tetap maka koefisien *drag* nya juga akan turun. Hanya saja harga koefisien *drag* hasil eksperimen sedikit berbeda dengan koefisien *drag* hasil pemodelan numerik. Hal

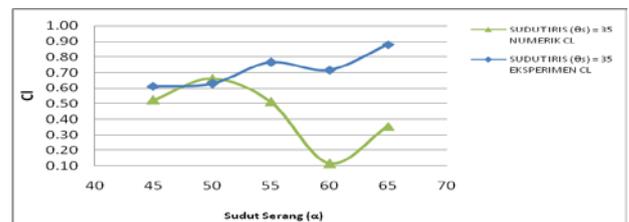
ini dikarenakan perbedaan jumlah titik uji dengan jumlah *grid* yang dipakai dalam pemodelan numerik. Selain itu kepekaan alat ukur serta kesalahan (*error*) yang terjadi pada saat pengambilan data pada eksperimen juga menjadi faktor adanya perbedaan C_d dan C_l antara hasil eksperimen dan numerik.

Dari gambar 5 secara umum terlihat bahwa koefisien *drag* cenderung turun. Adanya penurunan harga koefisien *drag* ini dikarenakan letak titik separasi *massive* yang cenderung semakin mundur pada bagian atas dan maju pada bagian bawah silinder. Hal ini disebabkan karena seiring bertambahnya sudut putar maka luas *wake* yang terbentuk akan semakin kecil, sehingga C_d cenderung menurun, dimana pada C_d terbesar didapatkan pada sudut putar ($\alpha 50^\circ$), baik dari hasil eksperimen maupun numerik. Hasil C_d minimum didapatkan pada sudut putar ($\alpha = 66^\circ$) dari hasil eksperimen. Sedangkan C_d minimum hasil numerik Pada sudut putar ($\alpha = 60^\circ$).



Gambar 5 Grafik $C_d = f(\alpha)$ perbandingan C_D hasil eksperimen dan numerik pada silinder tipe-D pada sudut iris ($\theta_s 35^\circ$)

Dari Gambar 6 terlihat bahwa C_l eksperimen cenderung naik. Adanya kenaikan harga koefisien *lift* ini dikarenakan ketidaksimetrisan dari letak titik separasi bagian atas dan bagian bawah silinder. Hasil C_l yang didapatkan pada hasil numerik memiliki tren yang berbeda dengan hasil yang

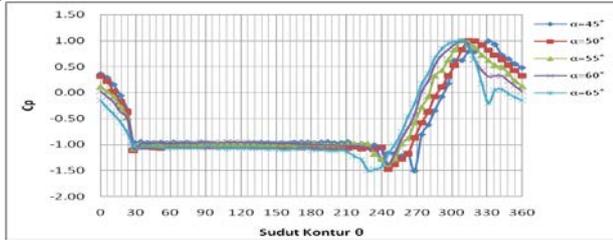


Gambar 6 Grafik $C_l = f(\alpha)$ perbandingan hasil C_l eksperimen dan numerik pada silinder tipe-D pada sudut iris ($\theta_s 35^\circ$)

didapatkan pada eksperimen. Hasil C_l minimum eksperimen didapatkan pada sudut putar ($\alpha = 45^\circ$), kemudian cenderung naik seiring bertambahnya nilai sudut putar sehingga didapat C_l terbesar pada sudut putar ($\alpha = 65^\circ$). Sedangkan pada hasil numerik nilai C_l cenderung turun seiring naiknya sudut putar, dimana hasil C_l minimum didapat pada sudut putar ($\alpha = 60^\circ$).

Karakteristik Aliran Fluida Melintasi Silinder tipe

D dengan sudut iris ($\theta_s = 53^\circ$) dan variasi sudut putar



Gambar 7 Grafik $C_p = f(\theta)$ hasil eksperimen berbagai sudut putar (α) pada silinder tipe-D pada sudut iris ($\theta_s = 53^\circ$)

Gambar 7 menunjukkan distribusi C_p pada permukaan atas dan bawah pada silinder teriris sebesar ($\theta_s = 53^\circ$) dengan kecepatan konstan untuk variasi sudut putar ($\alpha = 45^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ$). Terlihat secara umum bahwa distribusi koefisien tekanan antara silinder bagian atas (*upper side*) dan bawah (*lower side*) hampir sama pada silinder dengan pengirisan sebelumnya dimana tampak tidak simetris. Sudut pengirisan ini akan menyebabkan terjadinya defleksi aliran (akibat bidang irisan). Pada sudut pengirisan ini defleksi aliran akan menimbulkan terjadinya tumbukan momentum antara aliran terdefleksi dengan momentum aliran dari arah *mainstream*.

Pada grafik $C_p = f(\theta)$ hasil eksperimen pada sudut pengirisan ($\theta_s = 53^\circ$) titik stagnasi terletak disekitar sudut atas pengirisan, dimana hal ini mempengaruhi aliran yang terdefleksi ke bagian atas dan bawah silinder. terlihat bahwa letak titik stagnasi akan semakin mundur seiring bertambahnya sudut putar (α) yang semakin besar, terlihat bahwa pada sudut putar ($\alpha = 45^\circ$) letak titik stagnasi terletak pada ($\theta = 331^\circ$), pada sudut putar ($\alpha = 50^\circ$) letak titik stagnasi terletak pada ($\theta = 314^\circ$) sedangkan pada sudut putar ($\alpha = 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ$) letak titik stagnasi terletak pada ($\theta = 308^\circ$), bertambah majunya letak dari titik stagnasi ini akan mempengaruhi besarnya massa dan juga momentum aliran yang akan didefleksikan ke bagian atas silinder dan bagian bawah silinder.

Pada silinder ini dengan sudut putar ($\alpha = 45^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ$) titik separasi *massive* bagian bawah silinder terjadi pada ($\theta = 34^\circ$), dan kemudian letak titik separasi *massive* pada sudut putar ($\alpha = 65^\circ$), terjadi pada ($\theta = 40^\circ$). Pada sudut pengirisan hasil eksperimen ini didapatkan bahwa kenaikan sudut putar tidak mampu merubah letak dari titik separasi pada silinder bagian bawah. Perubahan letak dari sudut separasi *massive* baru terjadi pada sudut putar yang besar yaitu pada ($\alpha = 65^\circ$). Aliran yang terdefleksi ke bagian bawah silinder belum mampu mengatasi *blockage* aliran dari arah *mainstream* sehingga menyebabkan letak titik separasi menjadi lebih maju.

Pada bagian atas silinder, aliran mengalami

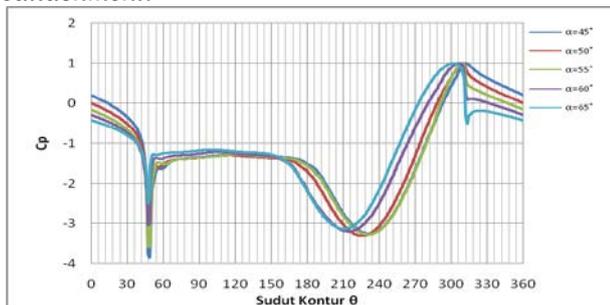
percepatan mulai dari titik stagnasi hingga mencapai kecepatan maksimumnya, hal ini ditunjukkan dengan adanya penurunan pada grafik C_p , dimana akselerasi aliran ini dikarenakan terjadinya penyempitan penampang *streamtube*. Setelah mencapai titik maksimumnya penampang *streamtube* akan membesar kembali dimana fluida akan mengalami kenaikan tekanan dan kecepatan aliran akan mengalami perlambatan. Hal ini karena adanya efek dari *adverse pressure gradient* dan karena adanya gaya geser. Ketika momentum fluida berkurang secara terus menerus akibat gaya tekan dan gaya geser maka semakin lama aliran fluida tersebut akan diperlambat sampai diam dimana gradien kecepatan menjadi nol. Pada saat momentum aliran sudah tidak mampu lagi mengatasi *adverse pressure gradient* dan gaya geser maka aliran akan terpisah dari permukaan kontur dimana titik terpisahnya aliran dari kontur ini dinamakan titik separasi.

Pada grafik $C_p = f(\theta)$ hasil eksperimen, pada bagian atas silinder separasi *massive* yang terjadi juga cenderung semakin maju seiring bertambahnya sudut putar. Pada sudut pengirisan ini, pada sudut putar ($\alpha = 45^\circ$), titik separasi terletak pada ($\theta = 234^\circ$), pada sudut putar ($\alpha = 50^\circ$), titik separasi terletak pada ($\theta = 234^\circ$), pada sudut putar ($\alpha = 55^\circ$), titik separasi terletak pada ($\theta = 228^\circ$), pada sudut putar ($\alpha = 55^\circ$), titik separasi terletak pada ($\theta = 222^\circ$), sedangkan pada sudut putar ($\alpha = 65^\circ$), titik separasi terletak pada ($\theta = 205^\circ$). Semakin majunya letak dari separasi bagian atas dari silinder ini seiring dengan majunya letak dari titik stagnasi dari tiap – tiap variasi irisan. Hal ini dikarenakan momentum aliran yang terdefleksikan ke bagian atas silinder mengalami efek *blockage* dari aliran *mainstream*, yang kemudian membuatnya lebih *turbulent* sehingga lebih mampu mengatasi *adverse pressure gradient* serta gaya geser dari permukaan lengkung dan mampu membuat separasi menjadi lebih tertunda kebelakang.

Aliran mempunyai kecenderungan untuk mengikuti kontur silinder, tetapi dengan adanya perubahan kontur yang mendadak karena pengirisan maka aliran akan terlepas dari kontur (separasi) dan karena adanya penambahan momentum dari aliran bebas (*freestream*) maka aliran akan kembali mengikuti kontur lagi (*reattachment*). Proses terpisahnya aliran dari kontur dan kemudian kembali mengikuti kontur ini dinamakan *bubble separation*. Pada Grafik 11 terlihat bahwa letak titik stagnasi semakin bergeser ke atas seiring bertambahnya sudut putar (α). Pada grafik $C_p = f(\theta)$ eksperimen pada sudut pengirisan ($\theta_s = 53^\circ$) dengan sudut putar ($\alpha = 45^\circ, 50^\circ, 55^\circ$) tidak terlihat adanya *bubble separation*, pada sudut putar yang semakin besar terlihat bahwa terbentuk adanya *bubble separation*, seperti pada ($\alpha = 60^\circ$), terlihat bahwa pada sudut putar ini telah terjadi *bubble separation*, dimana aliran terseparasi

dan kemudian akibat adanya momentum aliran dari *freestream* maka aliran akan mengikuti kontur kembali (*reattachment*), seiring bertambahnya sudut putar (α), maka *bubble separation* yang terjadi akan semakin besar, dimana *bubble separation* terbesar terdapat pada ($\alpha = 65^\circ$), dimana terseparasi dan kembali ke kontur. *Bubble separation* tidak muncul pada sudut putar yang kecil, hal ini dikarenakan letak titik stagnasi masih berada pada bidang pengirisan, namun pada sudut putar yang besar muncul fenomena *bubble separation*, karena seperti dibahas sebelumnya bahwa letak titik stagnasi akan semakin maju seiring semakin besarnya sudut putar (α), dimana terletak pada bagian lengkung silinder, dan akan memperbesar daerah aliran yang menuju ke arah bawah silinder, hal ini akan memperbesar massa dan momentum aliran yang menuju arah bawah silinder yang bertumbukan dengan aliran dari arah *freestream*, sehingga lebar dari *bubble separation* akan semakin besar.

Fenomena dari *bubble separation* dapat dilihat dari hasil visualisasi dari hasil numerik, terlihat bahwa terjadi *bubble separation* pada aliran yang terdefleksi ke bagian bawah silinder, dimana terlihat adanya aliran balik antara daerah separasi dan *reattachment*.



Gambar 8 Grafik $C_p = f(\theta)$ hasil numerik berbagai sudut putar (α) pada silinder tipe-D pada sudut iris ($\theta_s 53^\circ$)

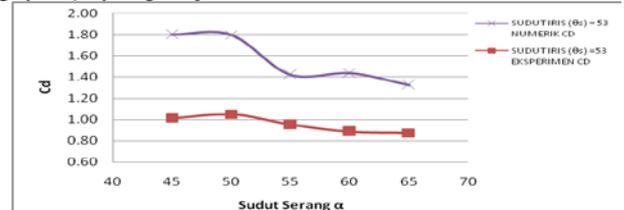
Dari Gambar 8 terlihat bahwa pada grafik penelitian secara eksperimental dan numerik memiliki tren yang sama, namun memiliki nilai distribusi tekanan yang sedikit berbeda. Hal ini dikarenakan pengambilan jumlah titik yang berbeda. Pada penelitian secara eksperimental menggunakan *pressure tap* dan jaraknya lebih renggang daripada *grid* yang digunakan pada penelitian secara numerik, sehingga grafik hasil pemodelan numerik yang diperoleh lebih halus dibanding dengan hasil eksperimen. Pada grafik $C_p = f(\theta)$ yang didapatkan secara numerik terlihat bahwa *bubble separation* terbentuk pada sudut putar yang besar, hal ini sama dengan yang ditunjukkan pada hasil eksperimen.

Pada Gambar 8 nilai dari $C_{p \min}$ pada silinder bagian bawah juga jauh berbeda, begitu juga dengan harga $C_{p \min}$ pada bagian silinder bagian atas. Lokasi titik separasi *massive* pada silinder bagian bawah serta atas dari hasil numerik juga berbeda dari

hasil eksperimen, sehingga lebar dari wake yang diprediksi oleh pemodelan numerik lebih kecil dibandingkan dengan hasil eksperimen.

Tinjauan Koefisien Drag(C_d) dan Koefisien Lift(C_l) Silinder Dengan Sudut Iris ($\theta_s = 53^\circ$) Dan Variasi Sudut Putar

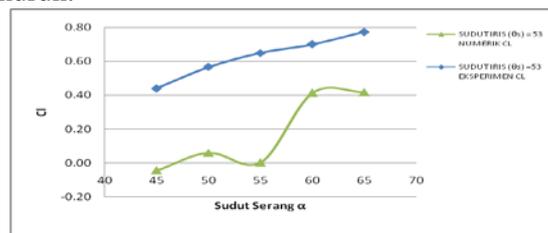
Secara umum kenaikan sudut putar pada tingkat pengirisan yang tetap cenderung memperluas permukaan bagian atas (*upper side*) silinder dan memperkecil luas permukaan bagian bawah (*lower side*) silinder yang dilingkupi aliran, dimana hal ini akan berpengaruh terhadap gaya *drag* dan gaya *lift* yang terjadi.



Gambar 9 Grafik $C_d = f(\alpha)$ perbandingan C_d hasil eksperimen dan numerik pada silinder tipe-D pada sudut iris ($\theta_s 53^\circ$)

Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan perbandingan antara koefisien *drag* dan koefisien *lift* hasil eksperimen dan numerik. Dari gambar dapat dilihat bahwa koefisien *drag* baik eksperimen maupun numerik memiliki tren yang hampir sama yaitu semakin besar sudut putar dengan sudut iris tetap maka koefisien *drag* nya juga akan turun. Hanya saja harga koefisien *drag* hasil eksperimen sedikit berbeda dengan koefisien *drag* hasil pemodelan numerik. Hal ini dikarenakan perbedaan jumlah titik uji dengan jumlah *grid* yang dipakai dalam pemodelan numerik. Selain itu kepekaan alat ukur serta kesalahan (*error*) yang terjadi pada saat pengambilan data pada eksperimen juga menjadi faktor adanya perbedaan C_d antara hasil eksperimen dan numerik.

Dari gambar 9 terlihat bahwa koefisien *drag* cenderung turun. Adanya penurunan harga koefisien *drag* ini dikarenakan letak titik separasi *massive* yang cenderung semakin maju pada bagian atas dan bagian bawah silinder. Hal ini menyebabkan seiring bertambahnya sudut putar maka luas *wake* yang terbentuk akan semakin kecil, sehingga C_d cenderung menurun.



Gambar 10 Grafik $C_l = f(\alpha)$ perbandingan C_l hasil eksperimen dan numerik pada silinder tipe-D pada sudut iris ($\theta_s 53^\circ$)

Dari Gambar 10, terlihat secara umum bahwa

koefisien *lift* cenderung naik. Adanya kenaikan harga koefisien *lift* ini dikarenakan ketidaksimetrisan dari letak titik separasi bagian atas dan bagian bawah silinder. Dari hasil penelitian dapat dilihat secara umum bahwa terjadi kenaikan pada koefisien *lift* seiring bertambahnya sudut putar, penambahan sudut putar akan menyebabkan ketidaksimetrisan wake yang terjadi pada kedua sisi dan cenderung menaikkan nilai dari koefisien *lift*. Terlihat dari grafik hasil numerik terdapat perbedaan dari nilai koefisien *lift*, hal ini dikarenakan ukuran serta ketidaksimetrisan dari *wake* yang diperoleh dari eksperimen dan numerik memiliki hasil yang berbeda.

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan analisa secara eksperimen dan numerik tentang karakteristik aliran fluida melintasi silinder teriris tipe D dengan tingkat pengirisan $\theta_s = 35^\circ, 45^\circ, 53^\circ, 60^\circ, 65^\circ$ dan untuk variasi sudut putar ($\alpha = 45^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ$) dengan $Re = 5,3 \times 10^4$, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan pemberian sudut putar pada silinder teriris tipe D memberikan gaya *lift*. Pada sudut pengirisan dengan sudut putar yang semakin besar membuat koefisien *lift* semakin besar
2. Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa pemberian sudut putar pada silinder tipe D dengan pengirisan tertentu nilai koefisien *drag* akan turun dengan diiringi kenaikan nilai koefisien *lift*.
3. Nilai koefisien *drag terbesar* pada hasil eksperimen dan numerik diperoleh pada silinder dengan sudut pengirisan ($\theta_s = 35^\circ$) pada sudut putar ($\alpha = 45^\circ$).
4. Nilai koefisien *lift* terkecil dan eksperimen pada hasil eksperimen diperoleh pada silinder dengan sudut pengirisan ($\theta_s = 35^\circ$) dengan sudut putar ($\alpha = 45^\circ$), sedangkan nilai koefisien *lift* terbesar diperoleh pada sudut pengirisan ($\theta_s = 35^\circ$) dengan sudut putar ($\alpha = 65^\circ$) pada eksperimen, sedangkan pada hasil numerik C_1 terbesar didapatkan pada sudut iris ($\theta_s = 53^\circ$) dengan sudut putar ($\alpha = 65^\circ$).
5. Pada grafik C_p yang didapat dari penelitian secara eksperimen dan numerik memiliki tren yang hampir sama, namun memiliki nilai yang sedikit berbeda.

Ucapan Terima kasih

Pemakalah mengucapkan terimakasih kepada Manajemen Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS dan Kepala Laboratorium Mekanika dan Mesin-Mesin Fluida Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.

Nomenklatur

D = diameter silinder (m)

F_D = gaya *drag* (N)

F_L = gaya *lift* (N)

H = tinggi irisan (m)

L = panjang silinder (m)

Δp = selisih tekanan statik dengan tekanan *freestream*

$t = H/2$ (m)

U_∞ = kecepatan *freestream* (m/s)

Greek letters

μ = viskositas udara ($kg / m \cdot s$)

ρ = massa jenis udara (kg / m^3)

Subsripts

max

maximum

min

minimum

Referensi

1. Aiba, S. dan Watanabe, H., 1997, **Flow Characteristics of a Bluff Body Cut From a Circular Cylinder**, *Journal of Fluids Engineering*, Vol 119, 453-457.
2. Andriyono, I. and Triyogi Y., 1999, **Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Tingkat Sudut Pengirisan pada Silinder Terhadap Gaya Drag**. Laporan Penelitian Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS
3. Fadli Perbawa, 2010, **Studi Numerik Tentang Karakteristik Aliran Fluida Melintasi Silinder Teriris Type D-53° Di Dekat Side Wall Untuk Lapis Batas Side Wall Laminar**, Laporan Tugas Akhir, Teknik Mesin, FTI-ITS.
4. Fox, Robert W. dan Mc. Donald, Alan T, 1998, **Introduction to Fluid Mechanics**, 5th edition, John Wiley and Son, Inc.
5. Freitas, J.C, 1999, **The Issue of Numerical Uncertainty**, 2nd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industry.
6. FLUENT tutorial user guide
7. Igarashi, T. dan Shiba, Y, 2006, **Drag Reduction for D-Shape and I-Shape Cilindres (Aerodynamics Mechanism of Reduction of Drag)**, *JSME International Journal*, Series B, Vol 49, No.4.
8. Pudjanarsa, A., Herman, S., and Burhan, A., 2009, **Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Sudut Putar pada Tingkat Irisan Silinder Sirkuler Terhadap Gaya Drag dan Gaya Lift**, Laporan Akhir Penelitian IMHERE, Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS, Surabaya.
9. Pudjanarsa, A., Herman. S, Burhan. A, 2010, **Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Sudut Putar pada Tingkat irisan Silinder Sirkuler Terhadap Gaya Drag dan Gaya Lift**, *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 10, no.3