

ANALISIS DAN PERHITUNGAN PADA DAYA MOTOR UNTUK TEROWONGAN ANGIN (*WIND TUNNEL*) TIPE *SUBSONIC* DENGAN *TEST SECTION* 0,2 X 0,2 M UNTUK ALAT PERAGA MEKANIKA FLUIDA SKALA LABOLATORIUM

Andi Tri G.

Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Maarif Hasyim Latif, Sidoarjo, Indonesia
e-mail : andi-tri-g@student.umaha.ac.id

ABSTRAK

Aerodinamika yaitu salah satu bagian dari ilmu dinamika fluida yang mempelajari tentang gaya yang bekerja kepada suatu objek benda yang berada di dalam suatu aliran fluida. Pemecahan pada persoalan aerodinamika yang umumnya melibatkan penghitungan berbagai sifat pada aliran yang terjadi, semacam kecepatan, tekanan, temperatur, maupungaya masa jenis, sebagai suatu fungsi terhadap ruang dan waktu. Dengan mempelajari model - model aliran yang ada, maka akan memungkinkan untuk menghitung maupun memperkirakan momen dan gaya bekerja pada suatu objek yang berada pada aliran tersebut. Laporan secara eksperimen yang berguna dalam pemecahan permasalahan aerodinamika bisa didapat melalui berbagai macam metode, dan salah satu metode tersebut yaitu dengan menggunakan wind tunnel.

Tujuan memperoleh angka air volume / CMH yang dibutuhkan pengujian pada (*test section*) di rangkaian terbuka *wind tunnel*. Mengetahui total keseluruhan kerugian pada tiap bagian rangkaian terbuka *wind tunnel*. Mengetahui dari hasil perhitungan daya motor pada *fan* yang benar dan sesuai.

Dari perhitungan yang telah dilakukan maka nilai minimal *air volume* yang diperlukan pada bagian *test section* sebesar 2880,14 CMH (*Cubic Meter Hour*). Analisa dari perhitungan Energy losses (kerugian energi) dari setiap komponen dalam rangkaian terbuka *wind tunnel* yaitu *settling chamber* (untuk nilai *Honeycomb* nilai $K_0 = 0,004687$ dan *screen* nilai $K_1 = 0,004687$), *contraction* dengan nilai $K_2 = 0,02745$, *test section* nilai $K_3 = 0,0675$, *Diffuser* nilai $K_4 = 0,72962$, dan saluran *discharge* nilai $K_5 = 0,1667887$. Maka total dari keseluruhan nilai tersebut dijumlahkan $K_{total} = 0,20014656$. Perhitungan nilai daya motor yang dibutuhkan pada hasil perhitungan pada BAB 4 sebesar 233,51 W $\rightarrow \frac{1}{2}$ HP.

Kata kunci: *air volume*, Perhitungan nilai , kerugian energi, rangkaian terbuka, subsonic, wind tunnel

PENDAHULUAN

Wind tunnel (terowongan angin) yaitu peralatan uji bersruktur tabung dimana udara dipaksa melaju dengan kencang yang digunakan untuk mempelajari efek aliran aerodinamis pada suatu objek benda. Benda atau Objek yang diuji ditempatkan dibagian tengah *test section*/ area uji. Maka udara direaksikan melewati objek benda dengan sebuah skema fan.

Dengan begitu peranan terowongan angin sangatlah penting di labolatorium teknik mesin dan kelas proyek, dengan berdirinya labolatorium teknik mesin di Universitas Ma'arif Hasyim Latief (UMAHA) Sidoarjo yang setahap demi setahap melengkapi peralatan penunjang untuk praktikum mahasiswa, Karena di labolatorium teknik mesin belum ada *wind tunnel*, padahal peranannya sangat di butuhkan untuk penelitian mahasiswa oleh karena itu dalam tugas akhir ini penulis membuat sebuah alat yaitu *wind tunnel*. dengan maksud untuk mendukung penelitian di bidang

aerodinamika dan melengkapi peralatan penunjang untuk praktikum di labolatorium UMAHA. Pada analisis tugas akhir ini bahwa dibangun pada rancangan alat uji di *wind tunnel* tipe rangkaian terbuka (*low subsonic wind tunnel open circuit*). *wind tunnel* tipe *low subsonic wind tunnel* rangkaian terbuka ini bagian utamanya terdiri dari *Settling chamber* , *contraction*, *test section*, *difusser*, dan *fan*.

Pada *wind tunnel* ini *fan* sangat penting pada pengujian aerodinamis suatu objek benda, sebab aliran yang stabil dan bagus sangat berpengaruh dalam pengujian *wind tunnel*. Selain pengaruh pada konstruksi *wind tunnel*, *fan* dan motor juga ikut berperan penting guna memperoleh aliran flow yang stabil untuk digunakan dalam pengujian, oleh sebab itu *fan* dan motor harus tepat, seperti perolehan nilai angka CMH (*Cubic Meter/Hour*) yang dihasilkan pada *fan* yang diperlukan dalam pengujian pada *test section* harus sama maupun lebih besar dari pada yang dibutuhkan, namun pemilihan motor diusahakan

seefisiensi mungkin. Pada penulisan ini fan yang digunakan dalam *wind tunnel* rangkaian terbuka adalah tipe *propeller fan*. sebab dengan tipe *propeller fan* ini mempunyai konstruksi yang cocok untuk diterapkan pada *wind tunnel* rangkaian terbuka ini, dan juga fan tipe ini mudah untuk pemasangannya.

Perumusan Masalah

1. Menghitung nilai CMH (*Cubic Meter/Hour*) yang dihasilkan dari *fan* ?
2. Menghitung nilai keseluruhan jumlah kerugian energi pada tiap komponen rangkaian terbuka *wind tunnel* ?
3. Menghitung daya pada motor yang akan digunakan untuk *fan* ?

Tujuan

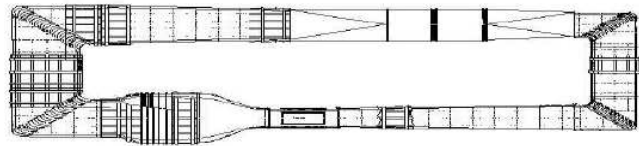
1. Mendapatkan nilai air volume / CMH yang dibutuhkan dalam pengujian (*test section*) dalam rangkaian terbuka *wind tunnel*
2. Mendapatkan total keseluruhan kerugian pada tiap komponen rangkaian terbuka *wind tunnel*
3. Mengetahui perhitungan daya pada motor *fan* yang tepat dan efisien

Tipe Wind Tunnel

Ada dua tipe dasar *wind tunnel*.

1. rangkaian terbuka *wind tunnel*. Setelah udara meninggalkan *diffuser*, udara tersebut terlepas langsung ke udara bebas. Bila *wind tunnel* mengambil udara langsung dari atmosfer.
2. rangkaian tertutup *wind tunnel*, serupa dengan namanya yang terakhir, udara yang keluar dari *diffuser* diarahkan kembali untuk dimasukkan ke *settling chamber*.

Tipe *wind tunnel* yang akan dipergunakan di dalam sini yaitu tipe *wind tunnel* rangkaian terbuka disaat udara yang sudah melewati tidak diarahkan kembali tetapi akan langsung menuju udara bebas. Kelebihan dari cara ini yaitu lebih efisien dan dapat meminimalisir kerugian energi dan turbulensi.



Gambar 2.3 Rangkaian tertutup *Wind Tunnel*

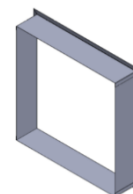
Komponen *Wind Tunnel Open Circuit*

Secara umum desain dan konstruksi rangkaian terbuka low speed *wind tunnel* ini harus memperhatikan kualitas aliran yang ada pada *test section* (yakni keseragaman aliran dan level turbulensi, baik arah axial maupun lateral). Demikian juga perlu dipertimbangkan aplikasi *wind tunnel*, apakah untuk bidang aeronautika, mekanikal, otomotif, atau bidang lainnya seperti sipil, arsitektur dan lingkungan dan sebagainya. hal ini juga akan berpengaruh terhadap target bilangan reynolds yang ingin dicapai.

Berikut ini adalah penjelasan desain masing - masing komponen rangkaian terbuka *wind tunnel*:

Settling chamber

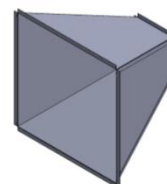
merupakan tempat dimana aliran udara pertama kali masuk kedalam rangkaian terbuka *wind tunnel* type *suction* (hisap). Dan bagian ini yaitu suatu ruang penyesuaian aliran udara agar aliran udara didalam *test section* didapatkan keseragaman aliran udara dan level turbulensi yang minim, baik didalam arah axial atau dalam arah lateral. gambar 2.4, menunjukkan skema pada *settling chamber* dengan *Honeycomb* didalamnya.



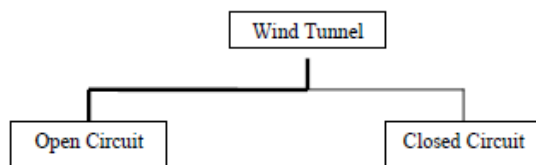
Gambar 2.4 *settling chamber*

Contraction

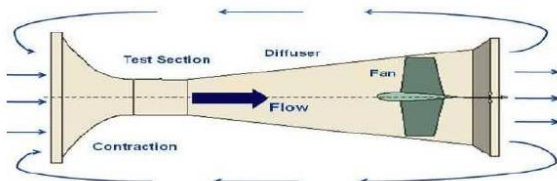
Contraction merupakan aliran dari *settling chamber* ke arah *test section*, dan mereduksi ketidak seragaman aliran didalam *test section*. Parameter akselerasi dan ketidak seragaman aliran sangat bergantung pada rasio kontraksi, yakni rasio luas penampang pada saat masuk dan keluar *contraction*.



Gambar 2.5 *Contraction*

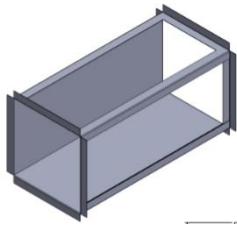


Gambar 2.1 tipe *wind tunnel*



Gambar 2.2. rangkaian terbuka *wind tunnel*

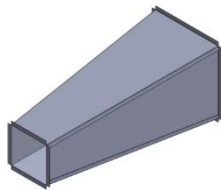
Test Section



Gambar 2.6 Test Section

Test section merupakan tempat dimana objek benda akan diuji diletakkan. Oleh karenanya kecepatan yang diinginkan dan kualitas aliran udara pada test section haruslah menjadi perhatian utama ketika mendesain sebuah wind tunnel.

Difuser

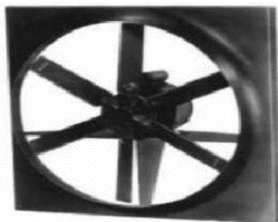


Gambar 2.7 Difuser

Kegunaan difuser yaitu *recocery* tekanan statik untuk bisa meningkatkan efisiensi pada wind tunnel. Dan sangat penting menjaga aliran agar tetap menyatu (*attached flow*). Dan bila terjadi *detachment flow* (pemisahan) maka pada tekanan akan disalurkan ke dalam test section, yang mengakibatkan terjadinya ketidak seragaman tekanan dan kecepatan. Untuk menghindari *detachment flow* ini, diusahakan sudut bukannya difuser tidak lebih dari 5°.

Power Drive (Fan dan Motor)

Fungsi utama penggerak pada daya adalah untuk menjaga kecepatan aliran udara di wind tunnel tetap konstan dan disipasi tekanan mengkompensasi semua kerugian (loss). Volume udara dapat dihitung dengan hasil kali antara kecepatan pada test section yang diinginkan, V dengan luas penampang pada test section



Gambar 2.8 Power Drive (Fan dan Motor)

Fan (kipas)

Fan (kipas) merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menghasilkan aliran udara pada fluida gas yaitu udara. Dimana kipas membuat

suatu aliran fluida dengan debit aliran udara yang besar pada tekanan yang minim, kipas ini banyak dipergunakan seperti untuk kenyamanan dalam ruangan (kipas dinding/kipas meja), cara pendingin dalam kendaraan atau cara operasi permesinan, ventilasi, penyedot debu, sistem pengeringan (dipasang dengan heater), membuang gas-gas berbahaya, atau pun supply udara untuk proses pembakaran (seperti di boiler). Namun dalam hal ini fan juga dapat digunakan sebagai alat bantu untuk menghasilkan aliran udara untuk pengujian aerodinamis pada suatu wind tunnel.

Klasifikasi Fan

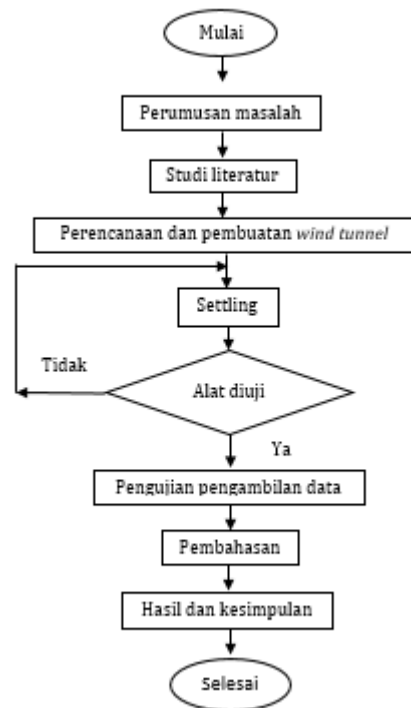
Berdasarkan prinsip kerja aliran udara fan dapat dibagi menjadi (dua) tipe yaitu :

1. axial fan
2. centrifugal fan.

METODE PENELITIAN

Kerangka Penelitian

Urutan langkah - langkah yang digunakan pada penelitian ini digambarkan pada diagram alir berikut ini :



Tempat dan Waktu

Pembuatan alat ini dilakukan selama 2 bulan di laboratorium UMAHA yang dimulai dari perancangan, pembuatan, hingga tahap uji coba alat.

Peralatan yang digunakan

Dalam pengujian ini membutuhkan alat yang utama maupun alat bantu untuk mendorong kesuksesan dalam pengujian. Adapun alat – alat yang digunakan didalam pengujian sebagai berikut :

1. Motor listrik
 - Merk : YIJINGLI
 - Tipe : 1 Phase Ac
 - Serial : YC711-2JI
 - Speed : 2800 r/mm
 - Daya : ½ HP
 - Volt/ampere : 220V/3.5A



Gambar 3.1 Motor Listrik ½ HP

2. Exhaust fan
 - Merk : CKE
 - Type : Axial Vent Blower
 - Model : EFZL-350-4DQ/3
 - Size: 350 mm (14")



Gambar 3.2 exhaust fan

3. Anemometer

Alat ini digunakan untuk mengukur suatu kecepatan aliran udara dan ditempatkan di dalam terowongan angin untuk mengukur besaran kecepatan pada aliran udara.



Gambar 3.3 anemometer

Prosedur Pengujian

Sebelum penelitian dilanjutkan untuk pengambilan data, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan ulang pada tiap-tiap bagian dari terowongan angin yang telah dirakit menjadi satu kesatuan. Pemeriksaan bermaksud untuk mengetahui kesiapan *wind tunnel* dan perbaikan-perbaikan yang perlu dilakukan. Pengecekan yang dilakukan diantaranya :

1. Pemeriksaan kebocoran pada tiap – tiap bagian terowongan angin.
2. Pemeriksaan tiap - tiap sambungan dibagian *honeycome*, *contraction*, *test section*, *diffuser*, fan.
3. Mengukur keseimbangan terowongan angin yang telah dirakit dan membandingkannya dengan pengukuran terowongan angin dari hasil yang telah dihitung.
4. Setiap bagian dipastikan dipasang pada satu garis sumbu yang sejajar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data Umum

Untuk perhitungan kapasitas volume udara yang diperlukan pada test section diketahui berdasarkan dari luas test section dan kecepatan udara yang diinginkan.

- V = Kecepatan aliran fluida (m/s)
- A = Luas test section (m²)
- Q = Debit aliran fluida (CFM / Cubic feet perminute (Ft³/min))
- K₀ = Energy Losses Pada *Honeycombs*
- K₁ = Energy Losses Pada screen
- K₂ = Energy Losses Pada contraction
- K₃ = Energy Losses Pada test section
- K₄ = Energy Losses Pada diffuser
- K₅ = Energy Losses Pada Saluran Discharge

A₀ = Luas seksi uji (m)

Perhitungan Daya Fan

Besarnya daya yang dibutuhkan olah fan dipengaruhi oleh massa jenis udara, luas seksi uji pada *test section*, kecepatan udara di test section, dan Total kerugian energi.

Perhitungan Energy Losses Pada *Honeycombs*



Gambar 4.4 honeycomb

Diketahui :

$$K = 0,30$$

$$D_o = 30 \text{ cm}$$

Mencari terlebih dahulu nilai dimensi Local (D) :

$$D = \sqrt{A_{inletcontraction}}$$

$$= \sqrt{3200} \text{ cm}^2$$

$$= 56,568 \text{ cm}$$

Maka dapat dicari nilai kerugian untuk honeycomb (K₀) :

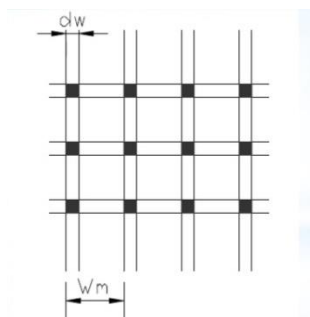
$$K_0 = K \left(\frac{D_o}{D} \right)^4$$

$$= 0,3 \left(\frac{20 \text{ cm}}{56,568 \text{ cm}} \right)^4$$

$$= 0,004687$$

Perhitungan Energy Losses Pada Screen

Saringan kawat berbentuk segi empat dan terbuat dari bahan kawat besi. Banyaknya saringan kawat yang digunakan pada terowongan angin sebanyak dua screen. Dan nilai kerugian energi pada screen yaitu :



Gambar 5.5 screen

$$K_1 = n \times k \times \left(\frac{D_o}{D} \right)^4$$

Dimana :

n = Banyaknya screen yang digunakan (1 screen)

k = Koefisien screen (0,30)

Maka nilai K_{1screen} adalah :

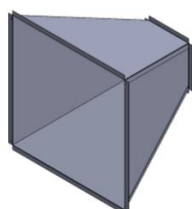
$$K_1 = 1 \times 0,3 \times \left(\frac{20 \text{ cm}}{56,568 \text{ cm}} \right)^4$$

$$= 0,3 \times (0,35355)^4$$

$$= 0,3 \times 0,015625$$

$$= 0,004687$$

Perhitungan Energy Losses Pada Contraction



Gambar 5.6 contraction

Kerugian energi di kontraksi ini utamanya dikarenakan oleh kerugian gesekan. Bahan yang digunakan untuk contraction ini yaitu almini. Dan dari referensi yang didapat nilai koefisien gesekan / friction coefficient (λ) untuk bahan almini yaitu sebesar 0,03. Sehingga nilai Contraction kerugiannya yaitu :

$$K_2 = 0,32 \times \lambda \times \left(\frac{L_c}{D_o} \right)$$

Dimana :

λ = friction coefition aluminium = 0,03

Lc = panjang contraction

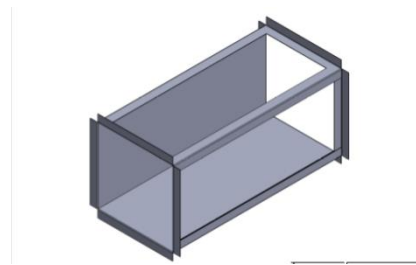
Do = Diameter contraction

$$K_2 = 0,32 \times 0,03 \times \left(\frac{57,2 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} \right)$$

$$= 0,0096 \times (2,86)$$

$$= 0,02745$$

Perhitungan Energy Losses Pada Test Section



Gambar 5.7 test section

Bahan yang digunakan adalah acrylic clear (transparan). Seperti yang terlihat pada lampiran 1, untuk nilai koefisin gesek / friction coefficient (λ) sebesar 0,53. Maka kerugian energi pada test section didefinisikan sebagai berikut :

$$K_3 = \lambda \left(\frac{L_{ts}}{D} \right) \left(\frac{D_o}{D} \right)^4$$

Dimana:

λ = 0,03 (Lampiran1)

Lts = 45 cm

D = 20 cm (Diameteroutlet)

Do = 20 cm (Diameterinlet)

Maka cara perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$K_3 = 0,03 \left(\frac{L_{ts}}{D} \right) \left(\frac{D_o}{D} \right)^4$$

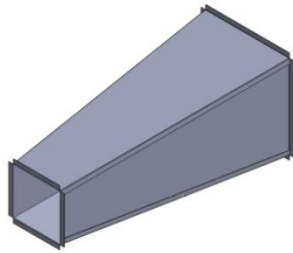
$$= 0,03 \left(\frac{45 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} \right) \left(\frac{20 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} \right)^4$$

$$= 0,03 (2,25) (1)$$

$$= 0,0675$$

Perhitungan Energy Losses Pada Diffuser

Pada diffuser kerugian energi yang terjadi tidak hanya disebabkan oleh koefisien gesekan, tetapi perlu diperhitungkan pula pembesaran penampang diffuser dari inlet ke outlet diffuser. Maka kerugian energi pada diffuser didefinisikan sebagai berikut :



Gambar 4.5 diffuser

$$K_4 = \left(\frac{\lambda}{2 \tan(7^\circ)} + 0,6 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \left(1 - \frac{D_1^4}{D_2^4} \right) \left(\frac{D_0^4}{D_1^4} \right)$$

Dimana :

α = Sudut divergensi 7°

D_0 = 20 cm (Diameter outlet)

D_1 = 20 cm (Diameter inlet)

D_2 = 32 cm (Diameter fan)

$$\begin{aligned} K_4 &= \left(\frac{\lambda}{2 \tan(7^\circ)} + 0,6 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \left(1 - \frac{D_1^4}{D_2^4} \right) \left(\frac{D_0^4}{D_1^4} \right) \\ &= \left(\frac{0,03}{0,24} + 0,0736 \right) \left(1 - \frac{20^4 \text{ cm}}{32^4 \text{ cm}} \right) \left(\frac{20^4 \text{ cm}}{20^4 \text{ cm}} \right) \\ &= (0,125 + 0,0736) \left(1 - \frac{160000 \text{ cm}}{1048576 \text{ cm}} \right) \left(\frac{160000 \text{ cm}}{160000 \text{ cm}} \right) \\ &= (0,125 + 0,0736)(1 - 0,15259)(1) \\ &= (0,861)(0,84741)(1) \\ &= 0,72962 \end{aligned}$$

Perhitungan Energy Losses Pada Saluran Discharge

Kerugian energi pada saluran discharge sukar untuk ditentukan, dan umumnya diambil 20% dari energi yang hilang. Kerugian energi pada saluran dischargenya menjadi :

$$\begin{aligned} K_5 &= 20\% \times (K_0 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4) \\ &= 20\% \times (0,004687 + 0,004687 + 0,02745 + 0,0675 + 0,72962) \\ &= 20\% \times (0,833944) \\ &= 0,1667887 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } K_{\text{total}} &= K_0 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 \\ &= 0,004687 + 0,004687 + 0,02745 + 0,0675 + 0,72962 + 0,1667887 \\ &= 0,20014656 \end{aligned}$$

Perhitungan Daya Yang Dibutuhkan

Daya total yang dibutuhkan oleh terowongan angin ditentukan oleh energi yang dibutuhkan diseksi uji, ditambah dengan kerugian energi yang terjadi diterowongan tersebut. Jadi daya yang dibutuhkan pada terowongan angin tipe terbuka ini, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= P_{\text{seksi uji}} + \text{kerugian energi} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_0 \cdot V^3 (1 + K_{\text{total}}) \end{aligned}$$

Dimana:

ρ = Massa Jenis Udara pada $T = 30^\circ\text{C} = 1,164 \text{ kg/m}^3$

A_0 = Luas seksi uji (m) = 20 cm x 20 cm = 400 $\text{cm}^2 = 0,04 \text{ m}^2$

V = Kecepatan udara pada seksi uji (m/s) = 13 m/s

$$P_{\text{total}} = \frac{1}{2} \cdot 1,164 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,04 \text{ m}^2 \cdot 13^3 \text{ m/s} (1 + 0,20014656)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,164 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,04 \text{ m}^2 \cdot 2197 \text{ m/s}$$

s (1,20014656)

$$= 186,24 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3 (1,20014656)$$

$$= 223,51 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$$

$$= 233,51 \text{ Watt}$$

Kapasitas Volume Udara

Untuk perhitungan kapasitas volume udara yang diperlukan pada test section diketahui berdasarkan dari luas test section dan kecepatan udara yang diinginkan. Diasumsikan kecepatan yang diinginkan adalah 13m/s.

$$Q = V \times A$$

Dimana:

Q = Debit aliran fluida (CFM / Cubic feet perminute (Ft³/min))

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

A = Luas test section (m²)

$$= 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} = 400 \text{ cm}^2 = 0,04 \text{ m}^2$$

Maka untuk mencari nilai kapasitas volume udaranya adalah :

$$Q = 13 \text{ m/s} \times 0,04 \text{ m}^2 = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Konversi kedalam satuan Cubic Feet perminute / CFM (Ft³/min)

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 2119 \text{ Ft}^3/\text{min}$$

$$\text{Maka : } 0,8 \text{ m}^3/\text{s} \times 2119 = 1695,2 \text{ Ft}^3/\text{min (CFM)}$$

Jika dikonversikan kedalam CMH:

$$1 \text{ Ft}^3/\text{min} = 1,699 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1695,2 \text{ Ft}^3/\text{min} \times 1,699 = 2880,14 \text{ m}^3/\text{h (CMH)}$$

PENUTUP

1. Dari perhitungan yang telah dilakukan maka nilai minimal *air volume* yang diperlukan pada bagian *test section* sebesar 2880,14 CMH (*Cubic Meter Hour*).
2. Analisa dari perhitungan Energy losses (kerugian energi) dari setiap komponen pada rangkaian terbuka *wind tunnel* yaitu *settling chamber* (untuk nilai *Honeycomb* nilai $K_0 = 0,004687$ dan *screen* nilai $K_1 = 0,004687$), *contraction* dengan nilai $K_2 = 0,02745$, *test section* nilai $K_3 = 0,0675$, *Diffuser* nilai $K_4 = 0,72962$, dan saluran *discharge* nilai $K_5 = 0,1667887$. Maka total dari keseluruhan nilai tersebut dijumlahkan $K_{\text{total}} = 0,20014656$.
3. Perhitungan nilai daya motor yang dibutuhkan pada hasil perhitungan pada BAB 4 sebesar 233,51 W -> 1/2 HP.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada seluruh dosen UMAHA, khususnya dosen Teknik Mesin (Ir. H. Suharianto, M.Sc.) atas bimbingan dan saran diberikan sehingga kami dapat menyelesaikan penelitian ini tepat waktu. Serta teman – teman dan keluarga atas dukungannya.

Atmospheric Boundary Layer Wind Tunnel,
University Of Florida

Tatman, Natman. 2004. Wind Tunnel Design and Operation.

<http://www.etw.de/windtunnel/ec/etw>,
akses : 17 Januari 2009

DAFTAR PUSTAKA

Afifah YN (2019). Analysis of Unsteady Magneto Hydro Dynamic (MHD) Nano Fluid Flow Past A Sliced Sphere Analysis of Unsteady Magneto Hydro Dynamic (MHD) Nano Fluid Flow Past A Sliced Sphere. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol 494. ; 2019:012033. doi:10.1088/1757-899X/494/1/012033

Bell, J.H., R.D. Metha. 1989. Boundary-Layer Predictions for Small Low Speed Contractions. London. AIAA Journal. http://vonkarman.stanford.edu/tunnel/contraction_paper.pdf

Barlow, Jewel B., William H. Rae, Alan Pope. 1999. Low-Speed Wind Tunnel Testing-3rd ed. New York. John Wiley & Sons, Inc.

Harold Sherwood Boudreau Iii. 2009. Design, Construction, And Testing Of An Open Atmospheric Boundary Layer Wind Tunnel, University Of Florida.

Kotwani, Kailash. 2003. Wind Tunnel Performance Analysis. <http://www.casde.edu/windtunnel.pdf>, akses : 16 Januari 2009

Miguel A. González Hernández, Ana I. Moreno López, Artur A. Jarzabek, José M. Perales Perales, Yuliang Wu and Sun Xiaoxiao. Design Methodology for a Quick and Low-Cost Wind Tunnel <http://dx.doi.org/10.5772/54169>

Nidia yuniarsih dan Wowo rossbandrio. 2015. “Pengembangan Terowonga Angin Kecepatan Rendah (low speed wind tunnel)”, untuk tujuan edukatif di Politeknik Negri Batam, Teknik Mesin Politeknik Negri Batam

Parts of Wind Tunnel. http://nasa/tunnel/tunnel_parts.html, akses : 16 Januari 2009

Sherwood Boudreau III Harold, 2009. Design, Construction, And Testing Of An Open

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan