

Experimental Study on Vortex Tubes Cooling of Machine Panel

Herman Budi Harja¹⁾, Novi Saksono²⁾

KEMENDIKBUD, Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Kanayakan No.21 Dago, Bandung, 40135

Telp : (022) 2500241, Fax : (022) 2502649

E-mail : h_b_harja@yahoo.com¹⁾

Abstract

Generally, The air conditioning in the panel of CNC machine always uses electric fan to avoid overheating in electrical components. The availability of compressed air on CNC machines infrastructure allows the utilization of innovation through the use of vortex tube as a cold air generator.

Vortex tube is a mechanical device that can separate the flow of pressurized air into hot and cold air. The cold air can be used as a substitute for cooler fan.

The experimental study was conducted to examine the correlation between the value ratio value with generated cold temperatures, as well as its application as cooling panel. Vortex tube testing was conducted at Polman Bandung, it was tested on machine panel of CNC lathe machine (CKE61130) with a volume panel of 0.26m.³

The result of study showed that the vortex tube with a ratio value of 0.44 generates the lowest cold temperature. Furthermore the experiment test showed that vortex tube can function properly and maintain the air temperature between 25 °C to 35 °C.

Keywords: vortex tube, ratio value, cold temperature, substitute for cooler fan.

PENDAHULUAN

Salah satu *error message* yang muncul dan menyebabkan berhentinya operasi mesin CNC adalah disebabkan oleh terjadinya *overheat* yang dialami komponen-komponen elektrik pada panel mesin. Pada umumnya pendingin panel mesin biasanya menggunakan *ventilator fan* sebagai pendingin, dimana udara bertemperatur 20°C yang ditiupkan ke dalam panel mesin didapatkan dari udara ruangan CNC yang sering kali kualitas kebersihannya masih kurang baik (berdebu). Debu tersebut menempel pada komponen elektrik di panel dan menghambat perpindahan panas komponen ke udara dalam panel, sehingga terjadi *overheat* pada komponen.

Seiring dengan tuntutan inovasi untuk mencari alternatif pendingin panel mesin dan dengan pemanfaatan ketersediaan udara bertekanan pada infrastruktur mesin CNC yang telah melalui proses *air treatment*. Maka peneliti berupaya membuat alternatif pendingin panel mesin dengan memanfaatkan luaran udara dingin dari tabung vortex. Tabung vortex merupakan alat mekanikal yang dapat menghasilkan luaran udara panas dan dingin dengan input udara bertekanan.

Beberapa hal kelebihan penggunaan tabung vortex sebagai pendingin adalah:

- Kualitas luaran udara dingin yang dihasilkan adalah kering dan bersih dari debu karena supply input udara tabung vortex berasal dari udara terfiltrasi yang selalu tersedia pada infrastruktur mesin CNC.
- Nilai temperatur luaran udara dingin dapat mencapai temperatur < -10°C.

- Low cost karena tabung vortex tidak memerlukan perawatan dan pergantian part.

Penelitian ini difokuskan untuk melakukan kajian eksperimental terhadap Luaran kinerja tabung vortex melalui variasi nilai rasio dimensi antara diameter dalam diafragma dengan pipa vortex dan variasi besar tekanan udara *inlet* kemudian penerapannya sebagai pendingin panel mesin



Gambar 1. Ilustrasi cara kerja tabung vortex[2].

TINJAUAN PUSTAKA

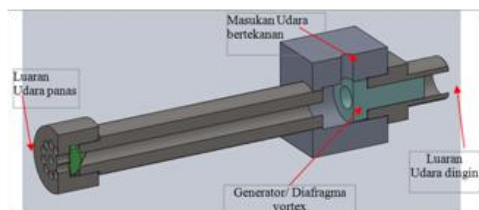
Tabung Vortex

Tabung Vortex sering dikenal dengan nama *Ranque-Hilsh tube* karena ditemukan pertama kali oleh George J Ranque pada tahun 1933 kemudian diperbaiki oleh Rudolf Hilsch pada tahun 1947[1]. Tabung vortex merupakan alat mekanikal yang dapat beroperasi seperti mesin pendingin AC dengan tanpa adanya bagian komponen yang bergerak atau berputar dengan cara memisahkan aliran udara bertekanan menjadi daerah udara dingin dan panas kemudian dialirkan pada lubang saluran yang berbeda.

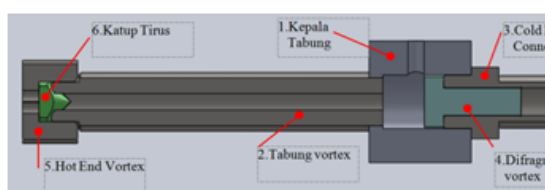
Cara kerja tabung vortex seperti ditunjukkan

pada gambar 1 adalah udara bertekanan dilewatkan pada saluran masuk secara tangensial dengan kecepatan tinggi, kemudian udara yang berekspansi pada chamber menghasilkan aliran pusaran udara dan bergerak secara spiral sepanjang tabung hingga pada ujungnya yang terdapat katup tirus. Pada saat katup ditutup sebagian, maka akan terjadi laju aliran udara balik pada sumbu tabung mulai dari sisi tekanan tinggi ke sisi tekanan rendah. Selama proses ini, perpindahan energi thermal berlangsung antara udara balik dan udara maju sehingga aliran udara balik yang terdapat pada sumbu tabung mempunyai temperatur lebih rendah dari temperatur udara masuk, sedangkan aliran udara maju akan memanaskan dan bertemperatur lebih tinggi dari temperatur udara masuk. Aliran udara balik yang dingin akan keluar melalui saluran udara dingin, sedangkan aliran udara panas akan keluar melalui bukaan katup, besar lubang keluaran dan temperatur udara dingin dapat diubah-ubah [3].

Tabung vortex dapat menghasilkan udara panas dan dingin dengan waktu yang bersamaan. Tabung vortex ini terdiri dari sebuah tabung panjang yang memiliki lubang masuk tangensial di dekat salah satu ujung dan katup kerucut pada ujung lainnya, seperti ditunjukkan gambar 2.



Gambar 2. Konstruksi tabung vortex



Gambar 3. Komponen tabung vortex

Konstruksi tabung vortex terdiri dari 7 komponen seperti Gambar 3 berikut :

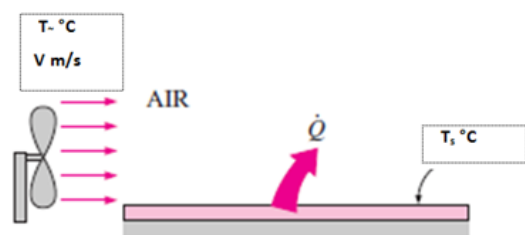
1. Kepala tabung
2. Tabung vortex
3. Cold end connector
4. Diafragma vortex
5. Hot end vortex
6. Dudukan katup
7. Katup

Beberapa percobaan tabung vortex telah

dilakukan oleh para peneliti untuk mencari rancangan kinerja tabung vortex yang baik. Data yang diambil untuk dibandingkan diantaranya adalah, diameter tabung, besarnya tekanan udara yang masuk di saluran *inlet* dan selisih temperatur yang terjadi. Maziar dan Yunpeng melakukan percobaan dengan mengubah-ubah rasio antara diameter penutup sisi panas dan diameter tabung hal yang sama dilakukan juga oleh Singh, Tathgir dan Grewal [3]. Selain itu Maziar dan Yunpeng juga melakukan penelitian temperatur keluaran dengan mengubah-ubah sudut vortex [4].

Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas). Menurut keadaan alirannya perpindahan panas konveksi dikategorikan menjadi dua yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa, aliran fluida pada konveksi bebas disebabkan oleh adanya variasi massa jenis yang selalu diikuti dengan adanya perbedaan temperatur fluida, sedangkan aliran fluida konveksi paksa seperti pada Gambar 4 terjadi disebabkan beberapa cara yang berasal dari luar misalnya menggunakan fan, pompa ataupun tiupan angin. Perpindahan panas atau pendinginan pada panel mesin merupakan konveksi paksa dimana aliran fluida berasal dari elektrik fan atau seperti pada kajian penelitian ini konveksi paksa menggunakan tiupan luaran udara dingin tabung vortex.



Gambar 4. Skema konveksi paksa [5].

Perhitungan Daya Thermal

Koefisien perpindahan panas yang terjadi di atas permukaan pelat dihitung dan diselesaikan dengan kekekalan massa, momentum dan persamaan energi. Hal tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan Nuselt [5].

$$Nu = \frac{hL}{k} = C Re_L^m Pr^n \quad (1)$$

Dimana C, m dan n adalah konstan sedangkan L merupakan panjang pelat. Temperatur yang terjadi

dari perpindahan panas dirumuskan :

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (2)$$

Apabila nilai $Re < 5 \times 10^5$ dan nilai $Pr \geq 0,6$, maka terdefinisi sebagai aliran laminar sehingga nilai konstanta C pada persamaan Nuselt adalah :

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0,664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3} \quad (3)$$

Nilai Re dapat dirumuskan :

$$Re = V_\infty L / \nu \quad (4)$$

Dimana V merupakan kecepatan angin [m/s], L adalah panjang pelat [m] dan viskositas kinematik udara ν [m²/s]

Perhitungan daya thermal dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Q = h A T_f \quad (5)$$

Q adalah daya thermal [Watt], h merupakan nilai konstanta koefisien perpindahan panas konveksi dan luas penampang pelat dinotasikan A [m²].

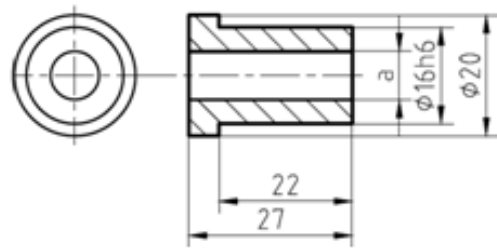
METODOLOGI PENELITIAN DAN FASILITAS YANG DIGUNAKAN

Metodologi penelitian dilakukan dengan urutan langkah-langkah kegiatan:

- Perancangan dan Pembuatan tabung vortex.
- Penentuan rasio dimensi diameter dalam difragma dan pipa tabung vortex untuk menghasilkan luaran udara dingin yang dapat dicapai melalui kajian eksperimen dengan memvariasikan diameter dalam diafragma dan variasi besaran input tekanan udara.
- Pengambilan data temperatur panel mesin berpendingin blower
- Pengujian penerapan pendingin tabung vortex di panel mesin

Perrancangan dan Pembuatan Tabung Vortex

Pada tahap ini tabung vortex dirancang dan dibuat untuk dapat menguji beberapa parameter dimensi dan tekanan, beberapa parameter yang diubah pada penelitian ini adalah besar tekanan input udara yang dialirkan berbeda dan 4 vareasi besar diameter dalam diafragma yaitu 4mm, 6mm, 8mm dan 12mm seperti pada Gambar 5. Kemudian komponen-komponen tabung vortex tersebut dibuat melalui proses pemesinan milling, turning dan drilling. Setelah itu komponen-komponen tersebut dirakit sehingga menjadi produk prototipe (Gambar 6).



Gambar 5. Diafragma vortex



Gambar 6. Prototipe tabung vortex

Pengujian Tabung Vortex

Pengujian tabung vortex dilakukan pada dua kondisi yaitu (1) pengujian tabung vortex itu sendiri untuk melihat pengaruh nilai rasio antara dimensi diameter dalam diafragma dan pipa vortex, serta pengaruh besar tekanan udara inlet terhadap luaran temperatur dingin; (2) Pengujian Pemanfaatan tabung vortex sebagai pengganti blower pendingin panel mesin.

Pada pengujian pertama tabung vortex dirangkai dengan skema seperti pada Gambar 7 dimana udara bertekanan yang berasal dari kompressor dialirkan melalui filter terlebih dahulu kemudian pengaturan besar tekanan yang masuk pada tabung vortex dilakukan menggunakan *pressure regulator*.

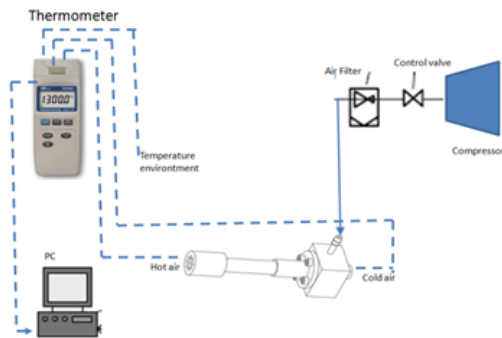
Pengambilan data temperatur pengujian seperti temperatur udara lingkungan, temperatur tabung vortex, temperatur luaran udara dingin dan udara panas diukur menggunakan thermometer Lutron TM903A 4 channel dengan resolusi 0,1°C serta dilengkapi software *Data Acquisition Software*.

Sebelum pengujian ke-2, sebagai data awal

observasi pengambilan data perubahan temperatur di dalam panel mesin berpendingin fan terlebih dahulu dilakukan. Data observasi ini nantinya akan dibandingkan dengan data perubahan temperatur panel mesin berpendingin tabung vortex.

Keseluruhan pengujian pada penelitian ini dilakukan di laboratorium CNC Jurusan Teknik Manufaktur kampus Politeknik Manufaktur Negeri Bandung. Penerapan pendingin vortex dipasang pada panel mesin bubut CNC CK61130i (Gambar 8) dengan volume ruang udara dalam panel sebesar 0,26m³ dengan dimensi panel mesin panjang 0,054m,

lebar 0,38m dan tinggi 1,26m.



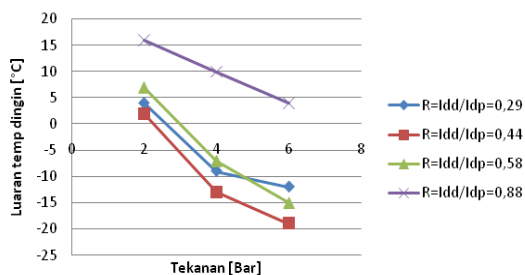
Gambar 7. Skema Pengujian tabung vortex.



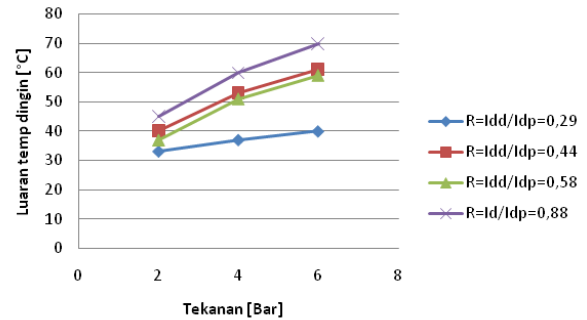
Gambar 8. Panel mesin bubut CNC CKE6130i

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian pertama tabung vortex adalah untuk melihat pengaruh nilai rasio dimensi antara diameter dalam diafragma (IDD) dengan diameter pipa (idp) terhadap luaran temperatur dingin tabung vortex dengan memberikan vareasi besar tekanan input. Secara grafik perubahan luaran temperatur dingin terlihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar9. Grafik Perubahan Temperatur Luar Udar Dingin Pada Vareasi Tekanan Input dan diameter



Gambar10. Grafik Perubahan Temperatur Luar Udar Panas Pada Vareasi Tekanan Input dan diameter diafragma

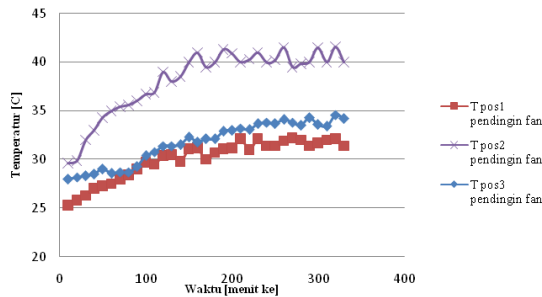
Dari Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa dengan vareasi tekanan input udara yang berbeda, temperatur dingin terendah didapatkan dari diameter diafragma 6mm atau pada nilai rasio antara diameter dalam diafragma (idd) dan pipa vortex (idp) sebesar 0,44.

Dengan nilai rasio tersebut didapatkan luaran temperatur udara dingin -19° pada tekanan input udara 6 bar. Semakin tinggi besar tekanan input udara yang diberikan akan menghasilkan luaran temperatur dingin yang lebih rendah. Pada penelitian ini besar tekanan input lebih dari 6 bar belum dilakukan dikarenakan kendala ketersediaan supply tekanan udara di laboratorium. Besar luaran temperatur panas tabung vortex akan semakin tinggi seiring dengan semakin besarnya nilai rasio dan atau besar tekanan input udara tabung vortex. Pada diameter dalam diafragma 12mm atau pada nilai rasio 0,87 dan tekanan input udara 6 bar, besar luaran temperatur panas tabung vortex 70°C .

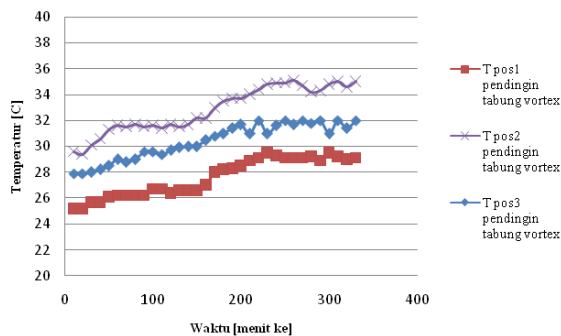
Observasi Perubahan Temperatur Udara Panel Mesin Berpendingin Fan

Pengamatan perubahan temperatur udara dalam panel mesin selama mesin beroperasi dilakukan untuk mengetahui kondisi temperatur udara yang harus dicapai oleh sistem pendingin panel mesin. Observasi ini dilakukan selama 320 menit pada 3 posisi area komponen yang terdeteksi panas tertinggi.

Dari Gambar 11 menunjukkan bahwa selama mesin CNC beroperasi temperatur udara dalam panel mesin harus berada pada range temperatur antara 25°C hingga 42°C .



Gambar 11. Perubahan Temperatur Udara dalam pan Mesin Berpendingin Fan



Gambar 12. Perubahan Temperatur Udara Panel Mesin Berpendingin Tabung Vortex

Perhitungan Daya Thermal Pada Panel Mesin

Beberapa parameter perpindahan panas dari hasil pengujian panel mesin berpendingin electric fan diketahui temperatur maksimal T_f adalah 42°C . hasil pengukuran kecepatan angin luaran electric fan adalah $2,5 \text{ m/s}$ dan temperatur T_∞ adalah 20°C .

Hasil perhitungan daya thermal menggunakan persamaan (3), (4) dan (5) diketahui nilai $Re=8.020$, $Nu=53,4$ dan $Q= 22,7 \text{ Watt}$. Hasil daya thermal Q $22,7 \text{ Watt}$ mendekati nilai daya listrik electric fan terpasang sebesar 25 Watt .

Pengujian Tabung Vortex Sebagai Pendingin Panel Mesin

Penerapan tabung vortex sebagai pendingin panel mesin dipasang pada kondisi optimum hasil pengujian pertama dimana diameter dalam diafragma 6mm atau nilai rasio $0,44$ dan tekanan 6 bar agar menghasilkan luaran udara dingin terendah -19°C .

Secara grafik perubahan temperatur udara dalam panel mesin berpendingin tabung vortex terlihat pada Gambar 12.

Dari Gambar 12 menunjukkan bahwa dengan memanfaatkan luaran temperatur dingin tabung vortex dapat menjaga temperatur udara dalam panel mesin berada di bawah temperatur 35°C dan dapat dijadikan

alternatif pilihan sebagai pengganti fan pendingin.

KESIMPULAN

- Tabung vortex berhasil dibuat dan dapat berfungsi dengan baik yaitu terlihat pada luaran temperatur dingin yang dihasilkan.
- Nilai optimum rasio dimensi $0,44$ antara diameter dalam diafragma dengan pipa vortex dapat menghasilkan luaran temperatur udara dingin terendah.
- Semakin besar tekanan input pada konstruksi tabung vortex dengan nilai rasio optimum akan memberi luaran temperatur dingin tabung vortex yang semakin rendah.
- Tabung vortex mampu digunakan sebagai alternatif pendingin panel mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vera, G.D., 2010, 'The Ranque-Hilsch Vortex Tube'.
- [2] "Vortex Tube", available at <http://wikipedia.org>, diakses Maret 2013.
- [3] Singh, P. K., 2004, 'An Experimental Performance Evaluation of Vortex Tube', *IE (I) Journal.MC* Vol 84.
- [4] Maziar Arjomandi, Yunpeng Xue, 2007, 'An Investigation Of The Effect Of The Hot End Plugs On The Efficiency Of The Ranque-Hilsch Vortex Tube', *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol.2, No.3, 211.
- [5] Cengel, Y., 2014, *Heat Transfer A Practical Approach*, Second edition.