

## **UNJUK KERJA VORTEX TUBE COOLER PADA PEMESINAN BAJA ST41**

**Akhmad Isnain Pulungan<sup>1)</sup>, Gusri Akhyar Ibrahim<sup>2)</sup>, Yanuar Burhanuddin<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung,

<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung,

Jl. Prof. Soemantri Brodjonegoro, No.1, Bandar Lampung 35145

Email : akhmadisnain\_p@yahoo.com

### **Abstrak**

Proses pemesinan merupakan proses manufaktur dimana objek dibentuk dengan cara membuang atau menghilangkan sebagian material dari benda kerjanya. Pada proses pembubutan, panas yang dihasilkan sangat tinggi sebagai akibat dari gesekan antara pahat bubut dan benda kerja. Salah satu faktor berpengaruh pada dalam proses pembubutan adalah media pendingin.

Dalam penelitian ini pembubutan dilakukan menggunakan pahat HSS dan material uji baja ST41, dengan media pendingin system vortex tube (udara dingin bertekanan) menghasilkan suhu udara dingin 14,6°C, 18,5°C, 21,°C. Udara dingin luaran vortex tube digunakan selama proses pembubutan dengan parameter feeding (f) 0,1 mm/rev, kecepatan spindel adalah 625(rpm) dan kedalaman potong konstan 2 mm.

Hasil penelitian pendingin vortex tube bukaan 2 dengan gerak makan 0,11 mm/rev dan kecepatan potong 80,46 m/menit menghasilkan umur pahat mencapai 5,63 menit, pada bukaan 3 dengan kecepatan potong 72,61 m/menit dan gerak makan 0,11 mm/rev umur pahat mencapai 5,60 menit. Umur pahat terendah di dapat tanpa menggunakan pendingin dengan gerak makan 0,11 mm/rev, kecepatan potong 88,39 m/menit, yaitu mencapai 2,86 menit dan umur pahat tertinggi didapat menggunakan media pendingin vortex tube bukaan 1 dengan gerak potong 0,11 m/rev dan kecepatan potong 88,39m/min sebesar 6,29 menit. Oleh karena itu media pendingin vortex tube dapat meningkatkan umur pahat HSS hingga mencapai 52,76%.

**Kata Kunci:** Pembubutan, baja ST41, HSS, vortex tube, kecepatan potong, gerak makan, umur pahat

### **PENDAHULUAN**

Proses permesinan adalah proses *manufaktur* dimana objek dibentuk dengan cara membuang atau menghilangkan sebagian material dari benda kerjanya [1]. Salah satu jenis proses pemesinan adalah mesin bubut. Pada proses pembubutan menghasilkan panas yang tinggi pada pahat dan benda kerja yang diakibatkan oleh gesekan antara pahat bubut dan benda kerja. Panas ini dianggap merugikan proses permesinan karena dapat menyebabkan pahat cepat menjadi aus, sehingga efisiensi proses permesinan menurun dan meningkatkan biaya produksi [2]. Untuk mengurangi gesekan pada kedua pahat dan benda kerja maka diperlukannya proses pendinginan. Proses pendinginan ini terbagi menjadi beberapa tipe yaitu *wet machining*, *dry machining*, *air*

*cooling*, dan pelumas dalam jumlah yang kecil [3].

Umur pahat merupakan salah satu faktor penting memperkirakan perkerjaan permesinan yaitu persisi, akurasi dan *surface finish*. Oleh karena itu penting untuk menganalisis pengaruh pengaplikasian udara pendingin menggunakan *vortex tube cooler* terhadap tingkat keausan mata pahat. Tujuan penulis ini adalah untuk mendapatkan unjuk kerja *vortex tube cooler* pada pemesinan kering Baja ST 41 menggunakan pahat HSS.

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Proses Produksi, Laboratorium CNC dan Laboratorium Material Jurusan Teknik mesin Universitas Lampung untuk pengukuran suhu

luaran *vortex tube*, proses pembubutan specimen uji dan proses pengukuran keausan mata pahat.

**A. Prosedur Kerja Penelitian**

**1. Persiapan Spesimen**

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan *specimen base* material sesuai dimensi. Ada pun langkah-langkah pembuatan base material adalah sebagai berikut:

- a. Mengalibrasi alat ukur panjang berupa jangka sorong.
- b. Mengukur dan menandai material sesuai dimensi *base* material.
- c. Memotong material yang telah ditandai pada poin b menggunakan gergaji.

**2. Instalasi vortex tube**

Pada tahapan ini dilakukan *instalasi vortex tube* berupa penyambungan antara kompresor, *pressure gauge* dan *vortex chamber* ke mesin bubut.

**B. Mengukur suhu luaran vortex tube**

Pada tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan data suhu luaran *vortex tube* yang dipengaruhi oleh variasi tekanan udara input *vortex chamber*. Proses pengukuran suhu dilakukan sebanyak 3 kali menggunakan termometer pada masing-masing variasi tekanan udara input.

Adapun langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan pengukuran suhu luaran pada *vortex tube* pada variasi tekanan input (P.gauge) sebesar 5,6 dan 7 bar.
- b. Melakukan pengukuran suhu luaran pada bukaan katub *vortex tube* dengan putran 360°, 720°, 1080°.
- c. Melakukan pengukuran kembali pada poin a dan b, sebanyak 3 kali untuk tiap tekanan udara input.

**C. Proses pembubutan spesimen**

Pada Tahapan ini dilakukan Proses pembubutan specimen dilakukan dengan kecepatan spindle 625 rpm, yang digunakan untuk memproses pembubutan benda kerja dengan hasil atau bentuk penampang lingkaran atau benda kerja berbentuk silinder, menggunakan udara

pendingin (*dry machining*) sebagai pendingin mata pahat.

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter pemotongan terhadap hasil dari kemas permukaan dengan menggunakan vortex tube, dengan tahapan pelaksanaan sebagai berikut:

- a. Melakukan uji jalan (*set up*) mesin bubut.
- b. Menguji kemampumesinan dengan parameter potong pada kondisi ekstrem
- c. Menentukan kondisi pemotongan v (kecepatan potong), a (kedalam potong), f (gerak makan), d (diameter benda kerja).
- d. Meningkatkan pemesinan (pembubutan kering) ortogonal dengan menggunakan pahat HSS dan benda kerja baja ST41.
- e. mengamati dan menganalisa kondisi mata pahat dari tiap kondisi pemotongan.
- f. Mengumpulkan data hasil penelitian berupa waktu pemesinan .
- g. Menentukan ragam kegagalan dan mekanisme aus yang terjadi pada pahat.

Tabel 1 Parameter pada penelitian pengukuran keausan mata pahat

No	Suhu	v	f	d
		(m/min)	(mm/rev)	(mm)
1	± 27°C (S. Ruang)	88,39	0,11	45
2	14,7°C (Katup I)	88,39	0,11	45
3	18,5°C (Katup II)	80,46	0,11	41
4	21,2°C (Katup III)	72,61	0,11	37

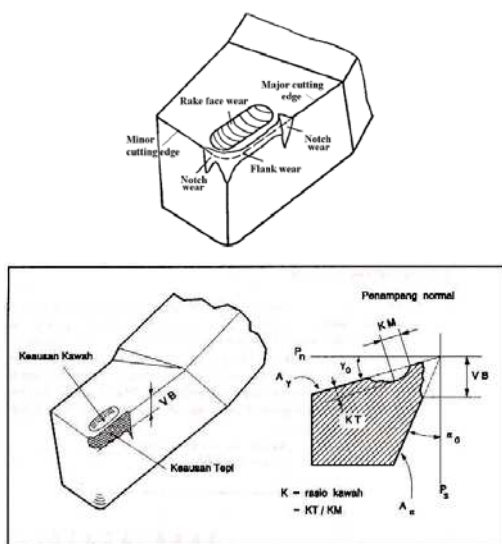
**D. Pengukuran keausan**

Pada tahapan ini dilakukan pengukuran keausan mata pahat yang terjadi pada proses pembubutan berupa pengukuran dimensi-dimensi yang merupakan indikator penentu keausan menurut studi pustaka yang ada menggunakan alat ukur mikroskop guna memperoleh dimensi

yang lebih akurat.

Adapun langkah-langkah pengukuran dimensi keausan mata pahat adalah sebagai berikut :

- a. Kalibrasi mikroskop.
- b. Pengukuran keausan mata pahat pada suhu *vortex tube* dengan keluaran suhu optimum, maximum dan tanpa menggunakan pendingin dengan kecepatan putar mesin bubut standar untuk mengetahui panjang umur pahat. Adapun keausan mata pahat dengan kedalaman 0,3 mm sesuai dengan studi pustaka yang ada.



Gambar 1 . Mode keausan Mata Pahat pada proses pemesinan

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Unjuk Kerja *Vortex Tube***

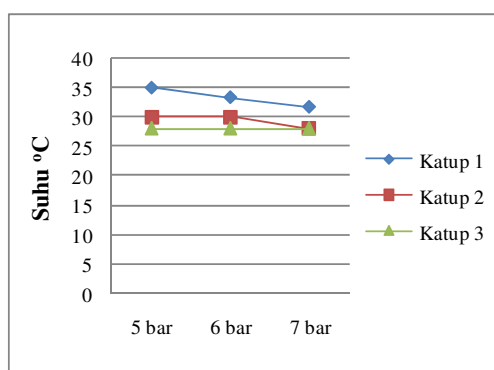
Pengujian dilakukan menggunakan kompresor dengan 3 variasi kecepatan udara, hal ini dilakukan dengan mengatur katup pada *vortex tube* dan laju aliran udara dari kompresor. Temperatur udara keluar didapat setelah laju udara masuk dalam *vortex tube* dan diukur menggunakan termometer yang ditempelkan di ujung luaran udara setelah kompresor stabil

dengan tekanan udara 5 bar, 6 bar dan 7 bar.

Udara dingin yang keluar dari *vortex tube* yang dipengaruhi oleh laju aliran dari kompresor dan katup. Selanjutnya udara dingin ini digunakan untuk proses pemesinan bubut, yang mana udara dingin luaran *vortex tube* ini dapat berpengaruh terhadap panjang umur pahat. Dengan mengetahui unjuk kerja *vortex tube* ini bisa mengetahui apa saja yang berpengaruh dalam menghasilkan udara dingin yang keluar dari *vortex tube*.

Tabel 2 Data pengukuran suhu udara dingin keluaran *vortex tube*

No	Katup ( <i>Vortex Tube</i> )	Parameter Pada Kompresor (bar)	Udara Dingin (°C)			Rata-rata
			5	6	7	
1	1 (360°)	5	14	15	14	14,8
		6	18	18	18	18
		7	19	19,5	19	19,7
2	2 (720°)	5	18	18,5	19	18,5
		6	19	19	19	19
		7	22	22	22	22
3	3 (1080°)	5	21	21,5	21	21,2
		6	22	22	22	22
		7	22	22	22	22



Gambar 2. Grafik udara dingin terhadap laju udara kompresor vs katup

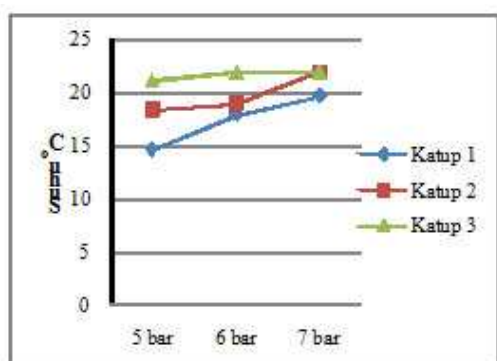
Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat pengaruh katup *vortex tube* dan tekanan pada kompresor. Penelitian ini dilakukan sebanyak 3 kali percobaan dengan tujuan untuk mendapatkan data yang akurat

terjadinya suhu udara dingin yang keluar dari *vortex tube*. katup 1 dengan tekanan dari kompresor 5 bar menghasilkan suhu rata-rata 14,67°C, tekanan pada kompresor 6 bar menghasilkan suhu rata-rata 18°C dan suhu rata-rata 19,67°C dengan tekanan 7 bar pada kompresor.

Udara dingin ini didapat dari kompresor dengan suplai udara bertekanan tinggi yang dimasukkan ke pendistribusi udara tipe T, yang kemudian udara akan keluar ke kedua hujungnya. Katup 2 mengalami kenaikan suhu 20,7% yang bertekanan 6 bar pada kompresor, kenaikan suhu udara dingin terjadi akibat suplai udara dari kompresor kurang dan udara yang keluar dari ujung udara panas lebih besar yang dapat mengurangi proses perpindahan panas.

Tabel 3 Data pengukuran Suhu udara panas keluaran *vortex tube*

No	Katup ( <i>Vortex Tube</i> )	Parameter Pada Kompresor (bar)	Udara Dingin (°C)			Rata-rata
1	1 (360°)	5	34	36	35	35
		6	32	34	34	33,3
		7	31	32	32	31,7
2	2 (720°)	5	30	30	30	30
		6	30	30	30	30
		7	28	28	28	28
3	3 (1080°)	5	28	28	28	28
		6	28	28	28	28
		7	28	28	28	28

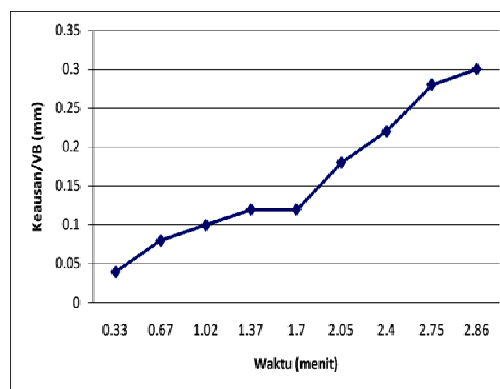


Gambar 3. Grafik udara panas terhadap laju udara kompresor vs katup

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat pengaruh katup terhadap suhu panas yang keluar dari *vortex tube* bahwa semakin kecil katup maka udara panas yang dikeluarkan akan semakin meningkat. Terlihat tekanan kompresor 5 bar dengan katup 1 menghasilkan suhu udara panas rata-rata 35°C mengalami penurunan suhu 14,29 % pada katub 2 dengan suhu udara panas rata-rata 30°C dan suhu udara panas rata-rata 28°C dengan katup 3 pada *vortex tube* mengalami penurunan suhu 6 %.

Suhu udara panas yang keluar pada vortex tube akibat pengaturan dari katup juga dipengaruhi tekanan udara pada kompresor dan semakin besar katup yang terbuka maka akan berpengaruh untuk penurunan udara panas yang keluar, karena katup terbuka lebih besar dalam proses perpindahannya berlangsung sangat singkat yang mengakibatkan udara yang keluar lebih cepat menuju katup yang memberikan udara lebih cepat keluar dari *vortex tube*.

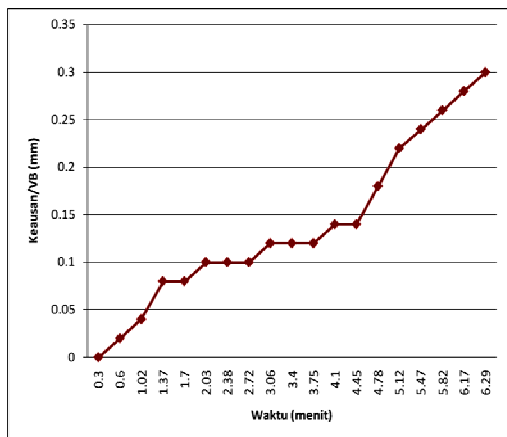
### B. Pengaruh Udara Dingin Terhadap Panjang Umur Pahat



Gambar 4. Grafik panjang umur pahat tanpa menggunakan pendingin

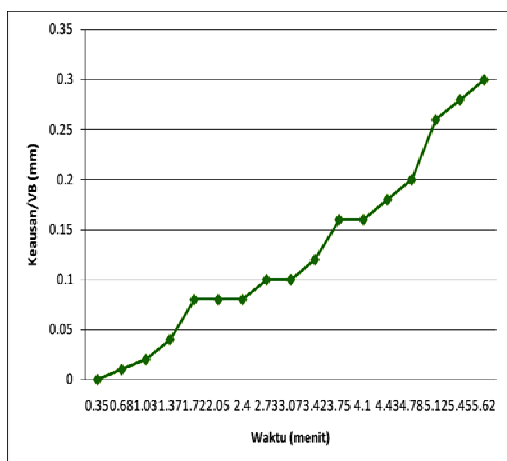
Dari Gambar 4 dapat dilihat progres aus bubuk mata pahat yang dihitung menggunakan *stopwatch* dengan rentang/interval waktu ± 0.33 menit, pada kondisi parameter pemotongan dengan kecepatan potong 88,39 m/min, diameter benda kerja 45 mm dan putaran poros 625 rpm tanpa menggunakan mesin pendingin

panjangnya umur pahat yang dihasilkan mencapai 2.86 menit.



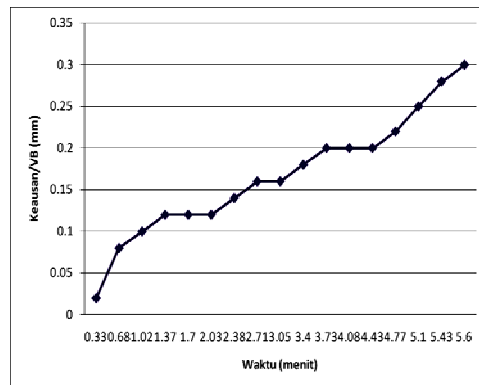
Gambar 5. Grafik panjang umur pahat menggunakan pendingin *vortex tube* bukaan katup 1

Sedangkan untuk kondisi parameter pemotongan dengan suhu luaran *vortex tube* 14,67°C, kecepatan potong 88,39 m/min, diameter benda kerja 45 mm dan putaran poros 625 rpm dengan menggunakan pendingin udara panjangnya umur pahat yang dihasilkan 6.29 menit.



Gambar 6. Grafik panjang umur pahat menggunakan pendingin *vortex tube* bukaan katup 2

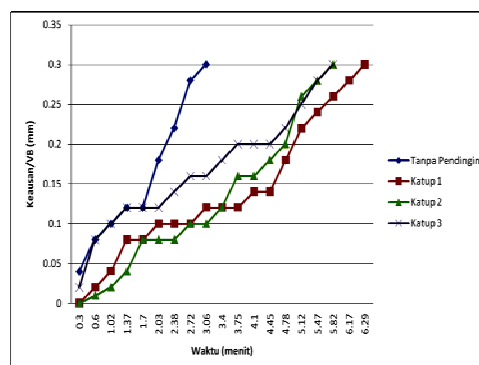
Sedangkan untuk kondisi parameter pemotongan dengan suhu luaran *vortex tube* 18,5°C, kecepatan potong 84,46 m/min, diameter benda kerja 43 mm dan putaran poros 625 rpm dengan menggunakan pendingin udara panjangnya umur pahat yang dihasilkan 5.62 menit.



Gambar 7. Grafik panjang umur pahat menggunakan pendingin *vortex tube* bukaan katup 3

Sedangkan untuk kondisi parameter pemotongan dengan suhu luaran *vortex tube* ± 21,16°C, kecepatan potong 80,54 m/min, diameter benda kerja 41 mm dan putaran poros 625 rpm dengan menggunakan pendingin udara panjangnya umur pahat yang dihasilkan 5.60 menit.

### C. Perbandingan Umur Pahat Menggunakan Media Pendingin *Vortex Tube* Dan Tanpa Menggunakan Media Pendingin



Gambar 8. Waktu pemotongan terhadap panjang umur pahat

Dari grafik diatas terlihat bahwa umur pahat cenderung menurun apabila menggunakan pendingin udara yang diatur melalui katup pada *vortex tube*, suhu udara dingin selain berpengaruh untuk panjang umur pahat, juga dapat menghasilkan gram yang halus. Akan tetapi aspek geometri pahat juga harus tetap di perhatikan karena tanpa menggunakan pendingin kesan permukaan pahat terlihat seperti terbakar atau hitam akibat gesekan keras dan kecepatan yang tinggi. Hal ini mungkin disebabkan karena pengaruh pendingin pada saat proses pemesinan, suhu yang dihasilkan akan lebih rendah.

Dari gambar diatas hasil perhitungan umur pahat dapat diketahui bahwa proses pemesinan bubut dengan menggunakan media pendingin *vortex tube* katup 1 yaitu sebesar 6,29 menit (Gambar 5), sedangkan umur pahat terendah sebesar 2,86 menit (Gambar 4) tanpa menggunakan media. Oleh karena itu terjadi peningkatan umur pahat sebesar 52,76 % dengan media pendingin udara. Pada proses pemesinan bubut menggunakan katup 2 dengan panjang umur pahat 5,63 menit (Gambar 6) terjadi penurunan keausan pahat dengan presentase 11 % terhadap katup 1, panjang umur pahat 5,60 menit (Gambar 7) menggunakan media pendingin katup 3 mengalami penurunan presentase 0,3 % terhadap katup 2.

Selain itu dari grafik juga terlihat pengaruh bukaan katup yang lebih kecil menghasilkan suhu udara lebih dingin dapat berpengaruh terhadap ketahanan umur pahat HSS. Katup 1 menghasilkan suhu udara yang lebih dingin dari pada udara yang dihasilkan pada bukaan katup 2 atau 3. Suhu udara dingin yang dihasilkan *vortex tube* selain dapat menurunkan temperatur pada pahat bubut yang disebabkan gesekan antara pahat bubut dan benda kerja. Peningkatan efektifitas penggunaan udara sebagai pendingin secara teoritis dapat dilakukan dengan menurunkan temperatur udara yang digunakan sebagai media pendingin [4].

Penurunan temperatur udara akan meningkatkan delta temperatur antara temperatur pahat/geram dengan media pendingin. Sehingga penggunaan udara bertemperatur rendah akan mampu meningkatkan efektifitas proses pendinginan. Menurut Boswell (2009) [5], udara dingin yang dapat dihasilkan oleh tabung *vortex* akan mencapai kondisi tetap (*steady*) setelah *vortex tube* beroperasi selama 1,5 menit. Karena prinsip kerja tabung *vortex* berdasarkan sistem termodinamika, maka efektifitas udara dingin yang dihasilkan akan sangat tergantung dengan laju aliran massa, densitas udara dan kecepatan udara.

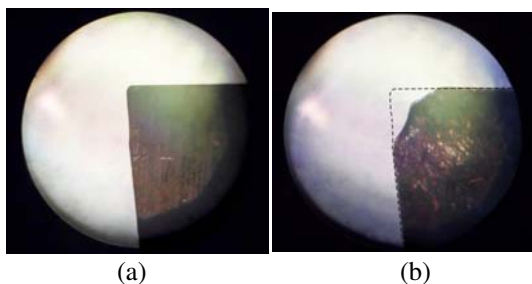
Beberapa peneliti melaporkan bahwa 97% dari kerja yang diberikan pada pemotongan diubah dalam bentuk panas [6]. Dari seluruh variabel proses pemesinan bubut kecepatan potong paling berpengaruh terhadap temperatur yang dihasilkan sewaktu proses pemesinan. Aus pahat bubut yang diamati jelas terlihat dari dua tempat yang pertama adalah pada sisi pahat dan aus kawah. Pada saat proses pembubutan kerusakan pahat bubut dikatakan maximum apabila aus tepi telah mencapai 0,3 mm.

#### **D. Aus Pahat Bubut**

Pada Gambar 10 dapat di lihat perbandingan pahat antara pahat yang belum mengalami proses pembubutan dan sesudah mengalami proses pembubutan dengan aus pahat bubut 0,3 mm. Gambar di atas terjadi keausan yang disebabkan oleh proses abrasif yang terbentuk lebih cepat dan lebih besar sehingga keausan tepi terjadi lebih cepat mencapai batas kritis. Proses pembubutan ini besarnya keausan tepi yang terbentuk ditandai dengan permukaan benda kerja/material yang lebih kasar. Keausan ini disebabkan oleh gesekan antara aliran material benda kerja pada bidang geram dan bidang utama pahat [7].

Selain proses abrasif, keausan yang terjadi pada proses pembubutan ini juga disebabkan oleh adanya gaya adhesi. Gaya adhesi ini akan mengakibatkan

panumpukan metal pada mata potong yang terkenal dengan nama BUE (*Built Up Edge*). BUE terbentuk sangat besar dan lebih cepat pada mata potong. Hal ini dapat kita lihat dengan menggunakan mikroskop optik.



(a) Sebelum pemesinan  
(b) Sesudah pemesinan ( $V_B = 0,3\text{mm}$ )

Terjadinya penumpukan lapisan material yang baru saja terbentuk yang menempel pada sekitar bidang utama dan bidang geram. Mekanisme keausan ini disebabkan karena pada tekanan dan temperatur yang relatif tinggi menyebabkan permukaan logam yang baru terbentuk menempel (bersatu seolah-olah dilas) dengan permukaan logam yang lain. [8].

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang unjuk kerja *vortex tube* pada pemesinan kering baja ST41 terhadap keausan pahat HSS maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Vortex tube* dapat menghasilkan udara dingin dengan suhu  $14,67^\circ\text{C}$  bukaan katup 1 (putaran  $360^\circ$ ),  $18,5^\circ\text{C}$  bukaan katup 2 (putaran  $720^\circ$ ) dan  $21,67^\circ\text{C}$  bukaan katup 3 (Putaran  $1080^\circ$ ), dengan tekanan pada kompresor 5 bar.
2. Semakin kecil bukaan katup pada *vortex tube* maka udara yang dihasilkan akan lebih dingin yang keluar dari *nozzel* pada *vortex tube*, sebaliknya semakin kecil bukaan katup maka akan semakin panas udara yang keluar dari *hot air* (katup) pada *vortex tube*.

3. Umur pahat tertinggi diperoleh pada suhu udara  $14,67^\circ\text{C}$  dengan kecepatan potong  $88,39\text{ m/min}$  yaitu selama 6,29 menit, sedangkan umur pahat terendah diperoleh pada saat pemotongan tanpa menggunakan pendingin dengan kecepatan potong  $88,39\text{ m/min}$  yaitu selama 2,86 menit.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rochim T. 1993. Proses Permesinan. Higher Education Development Support Project. Jakarta.
- [2] Rochim, Taufiq, Teori dan Teknologi Proses Pemesinan, HEDS, Jakarta, 1993
- [3] Sreejith, P.S and Ngoi, B.K.A. *Dry machining, machining of the future*. Journal of Materials Processing Technology 2000.
- [4] Paryanto, Rusnaldy, Utomo, T.S., Umardani, Y., (2010a), "Aplikasi air jet cooling pada proses pemesinan logam", Prosiding Seminar Nasional Teknoin: Green Technology, Yogyakarta, pp. E.91 – E.98
- [5] Boswell, B., Chandratilleke, T.T., (2009), "Air-cooling used for metal cutting", American Journal of Applied Sciences 6 (2), pp. 251 – 262.
- [6] Olortegui J. A. and Kwon P. Y., 2007. Tool wears mechanisms in machining. Int. J. Machining and Machinability of Materials 2; 3.
- [7] Sanvik Coromant, 2003, Technical Information:Tool Wear, 12 Maret 2004. <<http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/products/steelturmg/pdf/>>.
- [8] Pawlik, A., et al. 2002, *Tool Life Experiment*, 12 Maret 2004, <[www.personal.psu.edu/users/h/hhw103/Groupreport.pdf](http://www.personal.psu.edu/users/h/hhw103/Groupreport.pdf)>.