

**Prestasi Mata Alat Karbida Semasa Mengisar Hujung Besi Tuang  
FC 250 dalam Keadaan Kering dan Menggunakan  
Bendalir Pemotong**

*(Performance of Carbide Cutting Tool when Machining Cast Iron  
FC 250 in Dry Condition and Using Cutting Fluid)*

Jaharah A. Ghani\*, Mohd Noor Azmi Mohd Rodzi, Noordin Ibrahim  
dan Che Hassan Che Haron

Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,  
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM, Bangi, Selangor, Malaysia

\*Corresponding author: jaharah@eng.ukm.my

**Abstract:** *The performance of carbide cutting tool in end milling cast iron FC 250 in dry conditions and when using the cutting fluid has been carried out with emphasis on mechanisms of wear experienced by the cutting edge. In addition, the effects of other milling parameters were studied; cutting speed (m/min), axial depth of cut (mm) and feed rate (mm/tooth). Results indicate failure of the cutting edge is dependent on the parameters mentioned above. In dry machining, wear mechanisms were caused by adhesion and micro-attrition at low combination of machining parameters. While at high combination of machining parameters, the cutting edge failed due to catastrophic failure such as micro-cracks. Wear mechanisms that occur when milling using cutting fluid were abrasion, adhesion and diffusion. Longer tool life was achieved when using cutting fluid, i.e. about double compared to dry cutting at the optimum milling conditions. Water-based fluid was found to be better than the high viscosity oil to increase the tool life of the cutting tool.*

**Keywords:** carbide cutting tools, cast iron FC 250, milling, wear mechanism

**Abstrak:** *Prestasi mata alat karbida semasa mengisar hujung besi tuang FC 250 dalam keadaan kering dan menggunakan bendalir pemotong telah dikaji dengan penumpuan kepada mekanisme haus yang dialami oleh mata alat tersebut. Selain itu, kesan parameter pemesinan lain turut dikaji iaitu laju pemotongan (m/min), dalam pemotongan axial (mm) dan kadar suapan (mm/gigi). Keputusan menunjukkan kegagalan mata alat pemotong sangat bergantung kepada parameter-parameter yang telah disebutkan di atas. Pada pemesinan kering, didapati mekanisme haus yang berlaku adalah disebabkan oleh rekatan (adhesion) dan geseran-mikro (micro-attrition) pada kombinasi parameter pemesinan yang rendah. Manakala pada kombinasi parameter pemesinan yang tinggi, kegagalan mata alat adalah disebabkan oleh kegagalan malapetaka (catastrophic failure) seperti retakan mikro. Mekanisme haus yang berlaku apabila memesin menggunakan bendalir pemotong pula ialah mekanisma haus lelas (abrasion), rekatan dan resapan (diffusion). Hayat mata alat yang lebih lama dicapai apabila menggunakan bendalir pemotong iaitu hampir dua kali ganda berbanding dengan tidak menggunakan*

*bendalir pemotong pada keadaan optimum pemesinan. Didapati bendalir berasaskan air lebih baik berbanding dengan minyak sepenuhnya yang berkelikatan tinggi, dalam meningkatkan hayat mata alat pemotong.*

**Kata kunci:** mata alat karbida, besi tuang FC 250, pengisaran, mekanisme haus

## 1. PENGENALAN

Pada masa kini sektor pembuatan lebih menitikberatkan produk yang dihasilkan adalah jitu, cepat dan menjimatkan. Mata alat yang telah haus menghadkan kelajuan dan suapan yang ditetapkan semasa memotong logam. Pengisaran adalah proses membuang bahan menerusi gerakan nisbi benda kerja dan mata alat pemotong yang berputar<sup>1,2</sup>, dan pengisaran juga merupakan proses pemesinan yang serbaguna; boleh menghasilkan produk dengan permukaan rata mahupun berkontur dan pelbagai bentuk yang lain. Daya pemotongan, sudut dan keberkesanan geometri mata alat akan berubah semasa pemotongan berubah kedudukan secara relatif dengan bahan kerja. Pengisaran hujung digunakan secara meluas dalam pelbagai industri seperti sektor automotif, aeroangkasa dan industri pembuatan. Terdapat pelbagai kategori mata alat pemotong yang digunakan di antaranya karbida, keluli laju tinggi, aloi kobalt tuang, seramik asas alumina dan lain-lain lagi. Penggunaannya bergantung kepada keperluan benda kerja dan produk yang akan dihasilkan. Pelbagai benda kerja yang terdiri dari berbagai jenis bahan di antaranya besi tuang, titanium, keluli perkakas terkeras dan lain-lain yang boleh dimesin menggunakan kaedah pengisaran hujung.

Kadar haus mata alat yang rendah, kadar pembuangan logam yang tinggi, daya pemotong dan penggunaan tenaga yang rendah secara relatifnya merupakan ciri-ciri pemesinan besi tuang.<sup>3</sup> Lebih daripada 100 tahun, besi tuang dengan *lamella* grafit adalah bahan yang digunakan untuk membuat blok-blok enjin.<sup>4</sup> Bahan ini merupakan satu kompromi di antara sifat-sifat tribologikal, kos pengeluaran yang rendah dengan teknologi tuangan pasir, kebolehmesinan yang baik tetapi mempunyai sifat-sifat mekanik yang terhad, terutamanya kekukuhan yang rendah secara relatifnya.<sup>4</sup> Namun begitu, masih kurang penyelidikan yang dilakukan ke atas besi tuang gred FC (*ferrum casting-grey cast iron*) dan FCD (*ferrum casting ductile-nodular graphite cast iron*) yang termasuk dibawah kategori besi tuang yang sukar untuk dimesin. Bahan ini banyak digunakan dalam pembuatan komponen automotif.

Haus mata alat akan mempengaruhi hayat mata alat, kualiti permukaan yang dimesin dan kejituan dimensi serta yang paling penting ialah keuntungan operasi pemesinan.<sup>5</sup> Haus mata alat pemotong yang digunakan untuk memotong logam dan aloi merupakan sesuatu yang penting dalam perkaitannya dengan

ekonomi terutamanya dalam industri kejuruteraan. Apabila sesuatu mata alat pemotong haus, maka mata alat tersebut perlu digantikan. Kos penggunaan mata alat pemotong adalah sebahagian daripada kos keseluruhan proses pemesinan. Kos boleh dikurangkan dengan meningkatkan kadar pembuangan logam, yang bermakna penambahan laju pemesinan atau suapan, atau mungkin juga kedalaman pemesinan. Dalam keadaan sebenar, banyak faktor yang menghadkan kadar pemesinan tetapi apabila memotong keluli atau logam-logam bertahap lebur tinggi, kadar haus mata alat bertambah dengan peningkatan laju pemesinan, dan had tertinggi laju atau suapan ditemukan dengan keupayaan mata alat pemotong untuk menahan haus.

Kadar haus mata alat bergantung kepada bahan mata alat dan bahan kerja, bentuk mata alat, bendalir pemotong, parameter-parameter proses (seperti laju pemotongan, suapan dan ukur dalam pemotongan) dan ciri-ciri perkakas mesin. Terdapat dua jenis bentuk haus, iaitu haus rusuk (*flank wear*) dan haus lekuk (*creater wear*).<sup>5</sup> Jumlah serpihan zarah haus yang tersangkut pada bahagian permukaan mata alat merujuk kepada isipadu haus pelekukan, dan zarah-zarah haus yang tersangkut di permukaan mesin merujuk kepada haus rusuk.<sup>6</sup> Menurut Ghani *et al*<sup>6</sup>, pada kelajuan memotong yang sederhana, akhir hayat mata alat ditentukan dengan gesel yang berlebihan di rusuk mata alat pada permukaan bahan benda kerja. Pada kelajuan yang tinggi, haus pelekukan dipengaruhi oleh kedalaman lekukan sehingga berlaku kegagalan pinggir. Haus jenis resapan akibat pelarutan kimia juga berlaku pada kelajuan yang tinggi. Proses pengoksidaan yang bertindak balas dengan persekitaran mempengaruhi penskalaan pinggir pemotongan. Masalah utama iaitu haus yang berlaku sepanjang proses pemesinan adalah disebabkan oleh penjanaan haba akibat suhu tinggi.<sup>7</sup> Selain itu, menurut Gekonde dan Subramaniam<sup>8</sup>, suhu meningkat ke maksimum bersama-sama peningkatan laju pemotongan, kerana peningkatan kadar terikan. Telah dilaporkan bahawa terdapat kira-kira 80%–90% haba yang dijana akan dipindahkan kepada serpihan, manakala 10%–15% haba dipindahkan kepada mata alat pemotong dan bahan kerja.<sup>9</sup> Pada laju pemotongan yang lebih tinggi, kadar aliran haba ke atas serpihan bertambah dan sebagai kesannya mengurangkan jumlah peratusan aliran haba ke dalam bahan kerja dan alat pemotongan.<sup>10</sup> Wang dan Liu<sup>11</sup> menyatakan bahawa kadar haba yang masuk ke dalam serpihan bertambah pada kelajuan pemotongan yang tinggi, dan mencadangkan bahawa haba yang dihasilkan di antara muka serpihan dengan mata alat pemotong, dan mata alat pemotong dengan bahan kerja sangat bergantung kepada pembangunan haus rusuk. Ini telah mengurangkan peratusan haba ke dalam bahan kerja walaupun keseluruhan suhu pemotongan telah meningkat. Mereka menyatakan bahawa kadar haba yang mengalir ke dalam serpihan bertambah semasa haus rusuk bertambah. Suhu pemotongan bertambah semasa laju pemotongan bertambah.<sup>12</sup>

Kertas kerja ini mengkaji secara terperinci mengenai prestasi mata alat karbida dengan penekanan terhadap mekanisme haus mata alat semasa mengisar hujung besi tuang dalam keadaan kering dan juga dengan menggunakan bendalir pemotong.

## 2. EKSPERIMEN

Proses mengisar hujung telah dilakukan menggunakan mesin Cincinnati Milacron Sabre 750 VMC menggunakan bendalir pemotong. Hayat mata alat pula diukur dengan menggunakan mikroskop berskala dengan merujuk kepada haus rusuk (*VB*) maksimum yang dihadkan kepada 0.3 mm. Kriteria haus mata alat pemotong dirujuk kepada Pertubuhan Piawai Antarabangsa.<sup>13,14</sup> Dalam kajian ini besi tuang kelabu jenis FC 250 mengikut piawaian JIS (Japanese Standard Association) telah dipilih sebagai bahan benda kerja. Sifat benda kerja dengan kekerasannya (ditentukan daripada *Rockwell B-scale hardness*) dalam julat 75 hingga 95 HRB dan kekuatan tegangan dalam julat 250 hingga 350 N/mm<sup>2</sup> yang digunakan secara umum dalam industri automotif. Komposisi kimia bahan kerja adalah seperti dalam Jadual 1. Dimensi blok besi tuang ialah 180 mm panjang x 100 mm lebar x 50 mm tinggi.

Jadual 1: Komposisi kimia besi tuang kelabu jenis FC 250.

Unsur	Peratus (%)
C	2.9–3.8
Si	1.8–3.4
Mn	0.1–1.0
Ti	0.1–0.3
Mg	0.003–0.020

*Nota:* Sumber: Malaysia Special Steel & Alliance Sdn. Bhd., Kepong, Selangor, Malaysia.

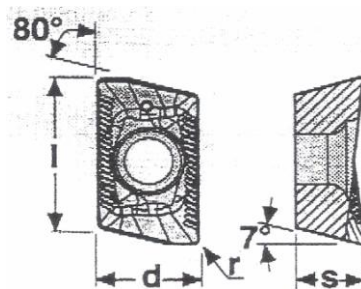
Mata alat yang digunakan ialah jenis sisipan kasar hujung mata alat karbida gred M12 dengan salutan T150M yang mempunyai tiga lapisan salutan yang terbentuk daripada Ti(C, N), TiN dan  $\kappa$  Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang masing-masing mempunyai ketebalan 2.5, 0.2 dan 0.2  $\mu$ m untuk pemesinan menggunakan bendalir pemotong.<sup>15</sup> Jadual 2 menunjukkan sifat mekanikal dan Rajah 1 pula menunjukkan geometri mata alat tersebut yang dipasang pada pemegang mata alat dua flut. Manakala untuk pemesinan dalam keadaan kering pula mata alat gred ACK 200 bersalut Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> telah digunakan dengan sifat mekanikalnya ditunjukkan dalam Jadual 3. Rajah 2 menunjukkan geometri mata alat tersebut yang juga dipasang pada pemegang mata alat dua flut. Parameter pemesinan adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 4. Parameter pemesinan ini ditentukan julatnya dengan merujuk kepada penyelidikan terdahulu, dan yang dicadangkan oleh pembekal mata alat. Parameter yang digunakan ini sesuai untuk

pengasaran dan separa pengasaran dalam julat pemesinan konvensional. Bendalir pemotong yang digunakan ialah yang berasaskan air dan minyak sepenuhnya.

Jadual 2: Sifat mekanikal mata alat karbida gred M12.

Kekuatan pecah melintang	3300 N/mm <sup>2</sup>
Ketumpatan	14.5 g/cm <sup>3</sup>
Konduktiviti terma	120 W/mk
Modulus kekenyalan	600 GPa

Nota: Sumber: SECO (2009)<sup>15</sup>



Rajah 1: Geometri mata alat karbida gred M12.

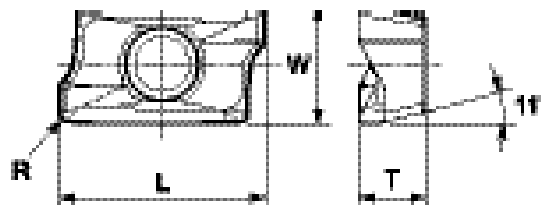
Nota: Sumber: Pembekal perkakas pemotong (SECO 2010)<sup>16</sup>

$l = 11.41\text{--}12.16$  mm,  $d = 8.18$  mm,  $s = 3.93\text{--}4.15$  mm dan  $r = 0.8$  mm

Jadual 3: Sifat mekanikal mata alat karbida gred ACK 200.

Kekerasan (HRA)	Modulus kekenyalan (GPa)	Jenis salutan	Bahan salutan utama	Ketebalan salutan ( $\mu\text{m}$ )
91.7	2.5	CVD	Sebatian halus Ti + $\alpha$ alumina	6

Nota: Kekerasan ditentukan daripada Rockwell A-scale hardness.



Rajah 2: Geometri mata alat karbida gred ACK200.

Nota: Sumber: Katalog Sumitomo (2010)<sup>17</sup>

$L = 10.38$  mm,  $W = 5.72$  mm,  $T = 30.36$  mm,  $R = 3.52$  mm dan lebar muka (*facet width*) = 13.42 mm.

Jadual 4: Parameter pemesinan.

Laju pemotongan (m/min)	100	123	146
Kadar suapan (mm/gigi)	0.20	0.30	0.35
Ukur dalam pemotongan axial (mm)	0.50	0.75	1.00
Bendalir pemotong berasaskan air dan minyak sepenuhnya			

### 3. KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Keputusan menunjukkan hayat mata alat yang paling lama dicapai apabila memesin menggunakan laju pemotongan 100 m/min, kadar suapan 0.2 mm/gigi dan ukur dalam pemotongan 0.5 mm bagi kedua-dua keadaan iaitu pemotongan kering dan menggunakan bendalir pemotong. Jadual 5 dan Jadual 6 menunjukkan hayat mata alat selama 29.4 minit telah dicapai dalam pemesinan kering menggunakan mata alat gred ACK200 bersalut  $Al_2O_3$  dan hayat mata alat selama 40.78 minit telah dicapai menggunakan bendalir pemotong berasaskan air dan mata alat gred M12 dengan salutan TM150M. Manakala hayat terpendek selama 2.69 minit (menggunakan gred ACK200) dan 5.91 minit (menggunakan gred M12) didapati apabila memesin pada laju pemotongan 146 m/min, kadar suapan 0.2 mm/gigi dan ukur dalam pemotongan 1.00 mm, masing-masing dalam keadaan kering dan menggunakan bendalir minyak sepenuhnya.

Jadual 5: Jadual menunjukkan keputusan eksperimen keadaan pemotongan kering.

No. eksperimen	Kelajuan pemotongan, $V$ (m/min)	Kadar suapan, $f$ (mm/gigi)	Ukur dalam pemotongan, $d$ (mm)	Jangka hayat perkakas (min)
1	100	0.20	0.50	29.40
2	100	0.30	0.75	9.16
3	100	0.35	1.00	10.09
4	123	0.20	0.75	4.79
5	123	0.30	1.00	5.32
6	123	0.35	0.50	7.85
7	146	0.20	1.00	2.69
8	146	0.30	0.50	5.91
9	146	0.35	0.75	3.07

Jadual 6: Jadual menunjukkan keputusan eksperimen menggunakan bendalir pemotong.

No. eksperimen	Kelajuan pemotongan, $V$ (m/min)	Kadar suapan, $f$ (mm/gigi)	Ukur dalam pemotongan, $d$ (mm)	Bendalir pemotong	Jangka hayat perkakas (min)
1	100	0.2	0.5	Dromus	40.78
2	100	0.3	0.75	Yushiron MIC2800	18.85
3	100	0.35	1	Yushiron Oil CS	8.07
4	123	0.2	0.75	Yushiron Oil CS	7.67
5	123	0.3	1	Dromus	12.77
6	123	0.35	0.5	Yushiron MIC2800	13.34
7	146	0.2	1	Yushiron MIC2800	5.91
8	146	0.3	0.5	Yushiron Oil CS	6.45
9	146	0.35	0.75	Dromus	9.22

Daripada keputusan tersebut, dapat diperhatikan bahawa jangka hayat mata alat pemotong adalah lama pada kelajuan pemotongan, kadar suapan dan ukur dalam pemotongan yang lebih rendah. Manakala jangka hayat mata alat pemotong menjadi singkat setelah mengenakan kelajuan pemotongan dan ukur dalam pemotongan yang tinggi. Ramai penyelidik yang telah melakukan kajian tentang pemesinan dengan menggunakan berbagai-bagai jenis mata alat pemotong karbida dan memesin di bawah pelbagai keadaan parameter pemesinan telah bersetuju dan menyatakan bahawa jangka hayat mata alat pemotong menurun dengan cepatnya apabila kelajuan pemotongan dan ukur dalam pemotongan pemesinan bertambah.<sup>17</sup> Keputusan ini juga menunjukkan bahawa kesan kadar suapan kurang memberikan kesan kepada jangka hayat mata alat pemotong berbanding kelajuan pemotongan seperti yang dinyatakan Ghani *et al.*<sup>6</sup>

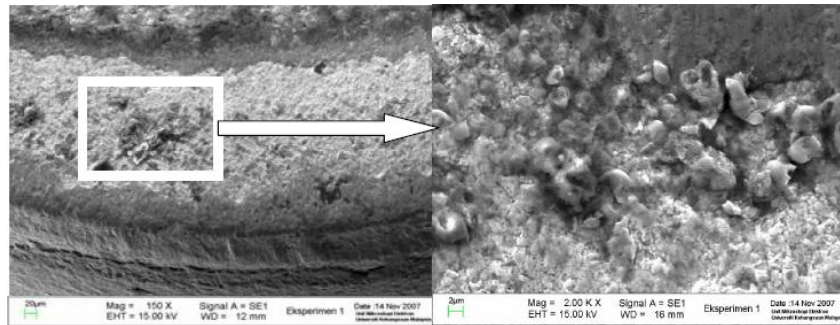
Penggunaan bendalir pemotong juga didapati telah meningkatkan hayat mata alat hampir sekali ganda. Bendalir pemotong berasaskan air didapati lebih baik berbanding dengan minyak sepenuhnya. Ini menunjukkan bahawa jenis bendalir pemotong juga memberikan pengaruh penting dalam menentukan jangka hayat mata alat pemotong. Kesimpulan yang dapat dibuat ialah penggunaan bendalir pemotong berasaskan minyak sepenuhnya memberikan jangka hayat yang lebih singkat berbanding penggunaan bendalir pemotong berasaskan air. Ini selaras dengan kenyataan Trent dan Wright,<sup>19</sup> iaitu pertambahan besar dalam kadar haus telah didapati apabila bendalir pemotong jenis minyak digunakan semasa memotong besi tuang dengan menggunakan mata alat pemotong karbida. Pendapat ini juga disokong oleh Reddy dan Roa<sup>20</sup>; didapati bahawa penggunaan bendalir pemotong berkelikatan tinggi akan memendekkan jangka hayat mata alat pemotong.

### 3.1 Mekanisme Haus Mata Alat

Haus mata alat pemotong disebabkan oleh daya hentaman yang dihadapi oleh mata alat pemotong semakin bertambah serta mata alat pemotong tidak sekeras seperti pada awal pemesinan disebabkan oleh suhu pemesinan yang semakin meningkat yang akan melembutkannya. Kesemua ini tertumpu pada hidung mata alat pemotong di mana tegasan hentaman, haba janaan, tekanan dan kejutan beban berlaku. Kadar haus rusuk adalah besar pada kelajuan pemotongan dan kadar suapan yang tinggi yang akan menyebabkan hayat mata alat pemotong menjadi pendek.<sup>21</sup>

Rajah 3 menunjukkan haus pada mata alat pemotong setelah memesin dengan kelajuan pemotongan 100 m/min, kadar suapan 0.20 mm/gigi, ukur dalam pemotongan 0.5 mm dan menggunakan bendalir pemotong berasaskan air. Rajah 3 juga menunjukkan permukaan pinggir mata alat pemotong. Walau bagaimanapun haus mata alat pemotong tidaklah terlalu ketara seperti terdapatnya penyerpihan dan keretakan. Ini disebabkan oleh kombinasi parameter pemotongan pada aras yang rendah, tambahan pula penggunaan bendalir pemotong semasa pemesinan, menyebabkan haba yang dijanakan adalah rendah. Adalah dipercayai haus jenis lelasan dan pergeseran telah berlaku ke atas mata alat pemotong ini. Haus lelasan biasanya dominan pada kelajuan pemotongan yang rendah.<sup>22</sup> Pendapat ini juga disokong oleh Arsecularatne<sup>23</sup>, beliau menyatakan bahawa jenis mekanisma haus yang berlaku dalam keadaan kelajuan/suhu rendah adalah jenis lelasan (*adhesion*). Selain itu mekanisma haus jenis mikro-pergeseran (*micro-attrition*) juga boleh berlaku apabila kelajuan pemotongan yang rendah dikenakan.<sup>24</sup> Haus lelasan juga akan membawa kepada haus pergeseran disebabkan oleh proses yang sama iaitu terdapat zarah-zarah yang keras yang terkandung dalam bahan benda kerja iaitu berlaku dalam kawasan sentuhan antara benda kerja dan mata alat pemotong.<sup>18</sup> Oleh kerana bahan benda kerja yang digunakan ialah besi tuang kelabu jenis FC 250 mengikut piawaian JIS dengan kekerasan puratanya 89.7 HRB, mekanisma haus ini adalah sangat bermakna. Bahan benda kerja mengandungi zarah-zarah yang sangat keras seperti C, Si, Mn dan Ti yang terkandung dalam komposisi kimianya. Kesemua unsur ini akan menyebabkan haus lelasan berlaku sepanjang masa permesinan. Oleh yang demikian apabila kekerasan mata alat pemotong berkurang disebabkan oleh suhu pemesinan yang semakin meningkat, kemungkinan besar untuk haus lelasan berlaku meningkat.<sup>25</sup>





Rajah 3: Haus mata alat pada kelajuan pemotongan 100 m/min, kadar suapan 0.20 mm/gigi, ukur dalam pemotongan 0.5 mm dan bendalir berasakan air pada akhir hayat mata alat pada 40.78 minit menunjukkan salutan T150M mata alat pemotong telah tanggal dari pinggir mata alat.

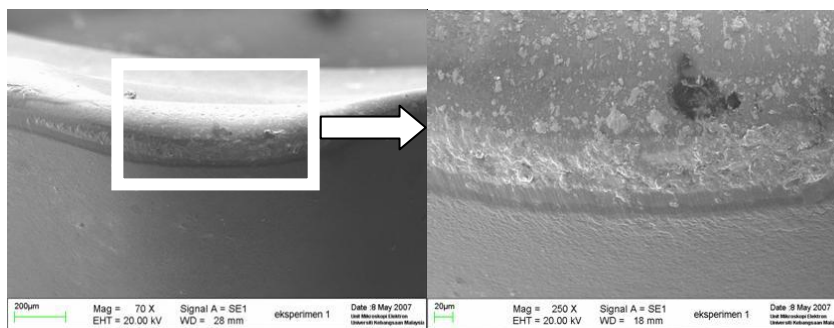
Rajah 4 menunjukkan haus pada mata alat pemotong gred M12 apabila memesin dengan kelajuan pemotongan 146 m/min, kadar suapan 0.2 mm/gigi, ukur dalam pemotongan 1 mm dan menggunakan bendalir pemotong minyak sepenuhnya. Pada kombinasi parameter pemotongan ini, jangka hayat mata alat pemotong ialah 5.91 min. Mekanisma haus rekatan telah berlaku, kerana pergeseran di antara mata alat pemotong dan benda kerja menyebabkan tertanggalnya salutan pada mata alat pemotong. Dalam pemotongan besar, penanggalan salutan pada mata alat pemotong mungkin penyebab utama haus terjadi. Hal yang serupa telah dilaporkan oleh Ginting<sup>26</sup> semasa memesin aloi titanium. Ginting<sup>26</sup> menyatakan bahawa mekanisma haus rekatan hanya akan berlaku apabila bahan salutan telah tertanggal daripada mata alat pemotong. Tertanggalnya bahan salutan pada mata alat pemotong mungkin disebabkan oleh beban mekanik yang lebih besar daripada kekuatan rekatan atau ikatan antara permukaan bahan asas mata alat pemotong dengan permukaan dalam bahan salutan menjadi lemah.

Haus rekatan biasanya berlaku pada suhu pemesanan dan tekanan yang tinggi untuk meleburkan serpihan benda kerja dan seterusnya melekat pada pinggir mata alat pemotong.<sup>25</sup> Peningkatan dalam haus rekatan berkait rapat dengan peningkatan suhu antara muka mata alat pemotong dengan serpihan yang juga disebabkan peningkatan halaju pemotongan.<sup>8</sup>



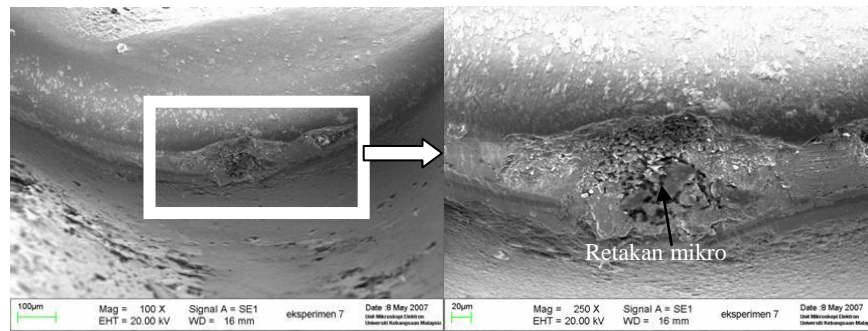
Rajah 4: Haus rekatan yang berlaku pada pinggir mata alat pada kelajuan pemotongan 146 m/min, kadar suapan 0.20 mm/gigi, ukur dalam pemotongan 1.00 mm dan menggunakan bendalir minyak sepenuhnya pada akhir hayat mata alat pada 5.91 minit.

Rajah 5 menunjukkan haus rusuk mata alat gred ACK200 yang seragam pada keadaan pemotongan yang rendah. Walaubagaimanapun, salutan telah tertanggal yang dipercayai disebabkan oleh penumpuan tegasan yang menyebabkan kegagalan lekit (*cohesive failure*) seperti yang dijumpai oleh Lin and Khrais.<sup>27</sup> Haba yang terjana adalah rendah pada keadaan pemotongan ini, dan haus yang terbentuk adalah disebabkan oleh rekatan<sup>23</sup> dan geseran-mikro.<sup>24</sup>



Rajah 5: Haus rasuk yang seragam pada kelajuan pemotongan 100 m/min, kadar suapan 0.20 mm/gigi, ukur dalam pemotongan 0.5 mm dan tanpa bendalir pemotong pada akhir hayat mata alat pada 29.40 minit.

Kegagalan malapetaka seperti retakan mikro diperhatikan apabila memesis pada kombinasi parameter pemesinan yang tinggi tanpa bendalir pemotong seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6. Proses tersebut berlaku dengan sangat cepat, bermula dengan pembentukan retakan mikro di bahan salutan dan akhirnya pembuangan bahan salutan. Keadaan ini telah menyebabkan hayat mata alat yang sangat pendek iaitu hanya 2.69 min sahaja.



Rajah 6: Haus mata alat pada kelajuan pemotongan 146 m/min, kadar suapan 0.20 mm/gigi, ukur dalam pemotongan 1.00 mm dan tanpa bendalir pemotong pada akhir hayat mata alat pada 2.69 minit.

#### 4. KESIMPULAN

Hayat mata alat yang lebih lama iaitu selama 40.78 min telah dicapai apabila menggunakan bendalir pemotong berasaskan air berbanding dengan tidak menggunakan bendalir pemotong yang hanya bertahan selama 29.4 minit pada keadaan optimum pemesinan. Didapati bendalir berasaskan air juga lebih baik berbanding dengan minyak sepenuhnya dalam meningkatkan hayat mata alat pemotong. Pada pemesinan kering, didapati mekanisme haus yang berlaku adalah disebabkan oleh rekatan (*adhesion*) dan geseran-mikro (*micro-attrition*) pada kombinasi parameter pemesinan yang rendah. Manakala pada kombinasi parameter pemesinan yang tinggi, kegagalan mata alat adalah disebabkan oleh kegagalan malapetaka (*catastrophic failure*) seperti retakan mikro. Mekanisme haus yang berlaku apabila memesin menggunakan bendalir pemotong pula ialah mekanisme haus las (*abrasion*), geseran, dan rekatan.

#### 5. RUJUKAN

1. Benedict, J. T., Veilleux, R. F. & Bakerjian, R. (1983). *Tool and manufacturing engineers handbook: A reference book for manufacturing engineers, managers, and technicians*, vol. 1. Dearborn, Michigan, USA: Society of Manufacturing Engineers.
2. Donaldson, C., LeCain, G. H. & Goold, V. C. (1983). *Tool design*. New York: McGraw-Hill, Inc.
3. Seker, U. & Hasirci, H. (2006). Evaluation of machinability of austempered ductile irons in terms of cutting force and surface quality. *J. Mater. Process. Technol.*, 173(3), 260–268.

4. Barbezat, G. (2005). Advanced thermal spray technology and coating for lightweight engine blocks for the automotive industry. *Surf. Coat. Technol.*, 5–6, 1990–1993.
5. Kalpakjian, S. & Schmid, S. R. (2001). *Manufacturing engineering technology*, 4<sup>th</sup> ed. New Jersey, USA: Prentice Hall International.
6. Ghani, J. A., Choudhury, I. A. & Masjuki, H. H. (2004). Wear mechanism of TiN coated carbide and uncoated cermets tools at high cutting speed applications. *J. Mater. Process Technol.*, 153–154, 1067–1073.
7. Khan, A. A. & Ahmed, M. I. (2007). Improving tool life using cryogenic cooling. *J. Mater. Process. Technol.*, 196(1–3), 149–154.
8. Gekonde, H. O. & Subramaniam, S. V. (2002). Tribology of tool-chip interface and tool wear mechanisms. *Surf. Coat. Technol.*, 149(2), 151–160.
9. El-Wardany, T. I., Kishawy, H. A. & Elbestawi, M. A. (2000). Surface integrity of die material in high speed hard machining. Part 2: Microhardness variations and residual stresses. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 5 122(4), 632–641.
10. Hirao, M., Terashima, A., Joo, H. Y., Shirase, K. & Yasui, T. (1998). Behaviour of cutting heat in high speed cutting. *J. Jpn. Soc. Precis. Eng.*, 64(7), 1067–1071.
11. Wang, J. Y., Liu, C. R. & Wang, K. K. (1999). The effect of tool flank wear on the heat transfer, thermal damage and cutting mechanics in finish hard turning. *CIRP*, 48(1), 53–58.
12. Chu, T. H. & Wallbank, J. (1998). Determination of the temperature of a machined surface. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 120(2), 259–263.
13. SIRIM. (1989). *Tool life testing in milling – Part 1: Face milling. ISO 8688 – 1*. Dicapai atas talian 8 Ogos 2010 dari [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?snumber=16091](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?snumber=16091).
14. SIRIM. (1989). *Tool life testing in milling – Part 2: End milling. ISO 8688 – 2*. Dicapai atas talian 8 Ogos 2010 dari [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?snumber=16091](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?snumber=16091).
15. SECO. (2009). *Katalog SECO*. Dicapai atas talian 26 Oktober 2009 dari [www.secotools.com](http://www.secotools.com).
16. SECO. (2010). *Katalog SECO*. Dicapai atas talian 8 Ogos 2010 dari <http://ecat.secotools.com/>.
17. Sumitomo Corporation. (2010). *Katalog Sumitomo*. Dicapai atas talian 18 Januari 2010 dari <http://www.sumicarbide.com/pdf/Milling%2008-09.pdf>.
18. Braghini, A. Jr. & Coelho, R. T. (2001). An investigation of the wear mechanisms of polycrystalline cubic boron nitride (PCBN) tools when end milling hardened steels at low/medium cutting speeds. *Int. J. Ad. Manuf. Technol.*, 17(4), 244–257.

19. Trent, E. M. & Wright, P. K. (2000). *Metal cutting*, 4<sup>th</sup> ed. Oxford: Butterworth-Heinemann.
20. Reddy, N. S. K. & Rao, P. V. (2005). A genetic algorithmic approach for optimization of surface roughness prediction model in dry milling. *Mach. Sci. Technol.*, 9(1), 63–84.
21. Balazinski, M. & Ennajimi, E. (1994). Influence of feed variation on tool wear when milling stainless steel 17-4Ph. *J. of Eng. Ind.*, 116(4), 516–524.
22. Nelson, S., Schueller, J. K. & Tlustý, J. (1998). Tool wear in milling hardened die steel. *J. Manuf. Sci. Eng.*, 120(4), 669–673.
23. Arsecularatne, J. A., Zhang, L. C. & Montross, C. (2006). Wear and tool life of tungsten carbide, PCBN and PCD cutting tools. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 46(5), 482–491.
24. Gu, L., Barber, G., Tung, S. & Gu, R. J. (1999). Tool life and wear mechanism of uncoated and coated milling inserts. *Wear*, 225(1), 273–284.
25. Kopac, J. (1998). Influence of cutting material and coating on tool quality and tool life. *J. Mater. Process. Technol.*, 78(1), 95–103.
26. Ginting, A. (2003). *Pemesinan hijau aloi titanium Ti-6242S dengan menggunakan perkakas pemotong pengisar hujung karbida*, tesis PhD. Universiti Kebangsaan Malaysia.
27. Lin, Y. J. & Khrais, S. K. (2007). Wear mechanisms and tool performance of TiAlN PVD coated inserts during machining of AISI 4140 steel. *Wear*, 262(1–2), 64–69.