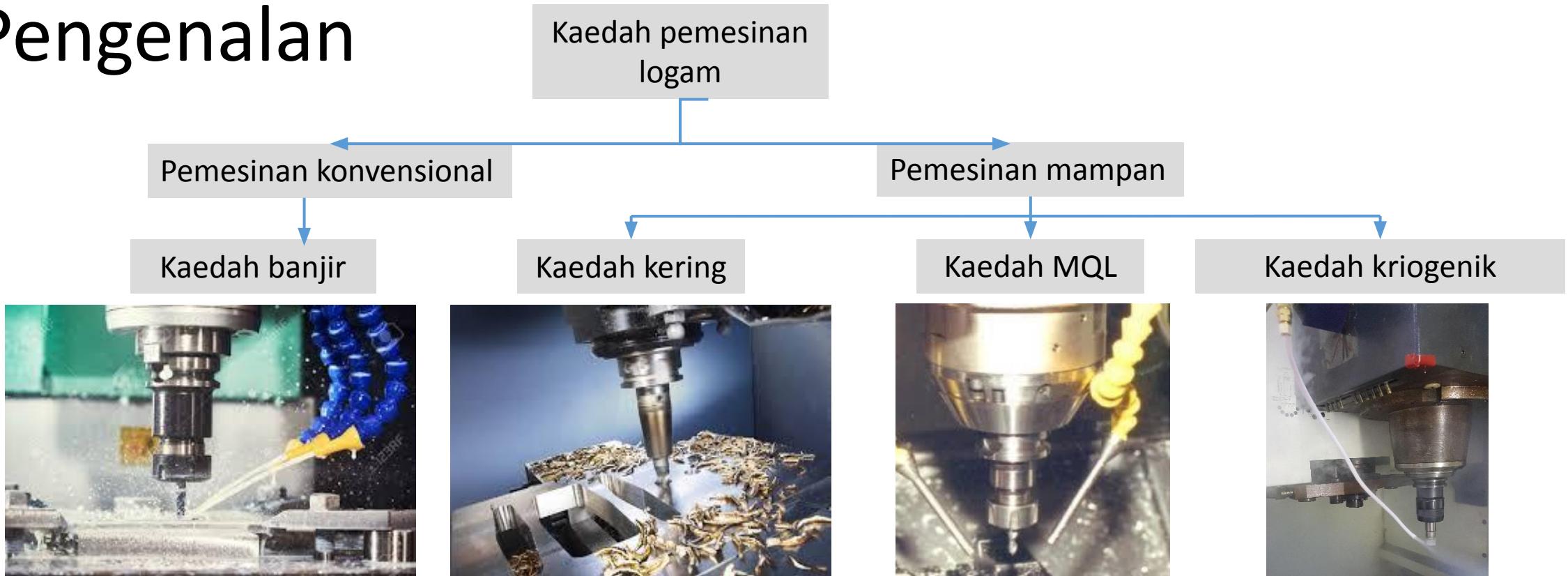




**PENGISARAN AISI 4340 DALAM KEADAAN
KERING DAN KRIOGENIK LN₂ DENGAN
MENGGUNAKAN MATA ALAT
HUJUNG KARBIDA
BERSALUT**

**Shalina Sheik Muhamad
Agensi Nuklear Malaysia
Shalina@nm.gov.my**

Pengenalan



- Pembuatan mampan → penciptaan produk pembuatan yang menggunakan proses yang tidak tercemar, menjimatkan tenaga dan sumber asli, dan memberikan kesan ekonomi dan selamat untuk pekerja, komuniti, dan pengguna (Anand et al. 2016).
- Pemesinan kriogenik → mematuhi tiga tonggak pembuatan mampan, iaitu ekonomi, masyarakat dan alam sekitar (Sutherland et al. 2016)

Pengenalan

- Pemesinan kriogenik → menggunakan cecair kriogen pada muka sadak dan/atau muka rusuk (*rake face and/or the flank face*)
 - Meningkatkan kadar pembuangan bahan tanpa meningkatkan haus mata alat,
 - meningkatkan hayat mata alat disebabkan oleh haus lelasan yang lebih rendah,
 - memperbaiki keutuhan permukaan,
 - memudahkan pemecahan serpihan dan
 - menyumbang kepada persekitaran yang mampan (Shokrani et al. 2013; Sun et al. 2015; Thakur & Gangopadhyay 2016)

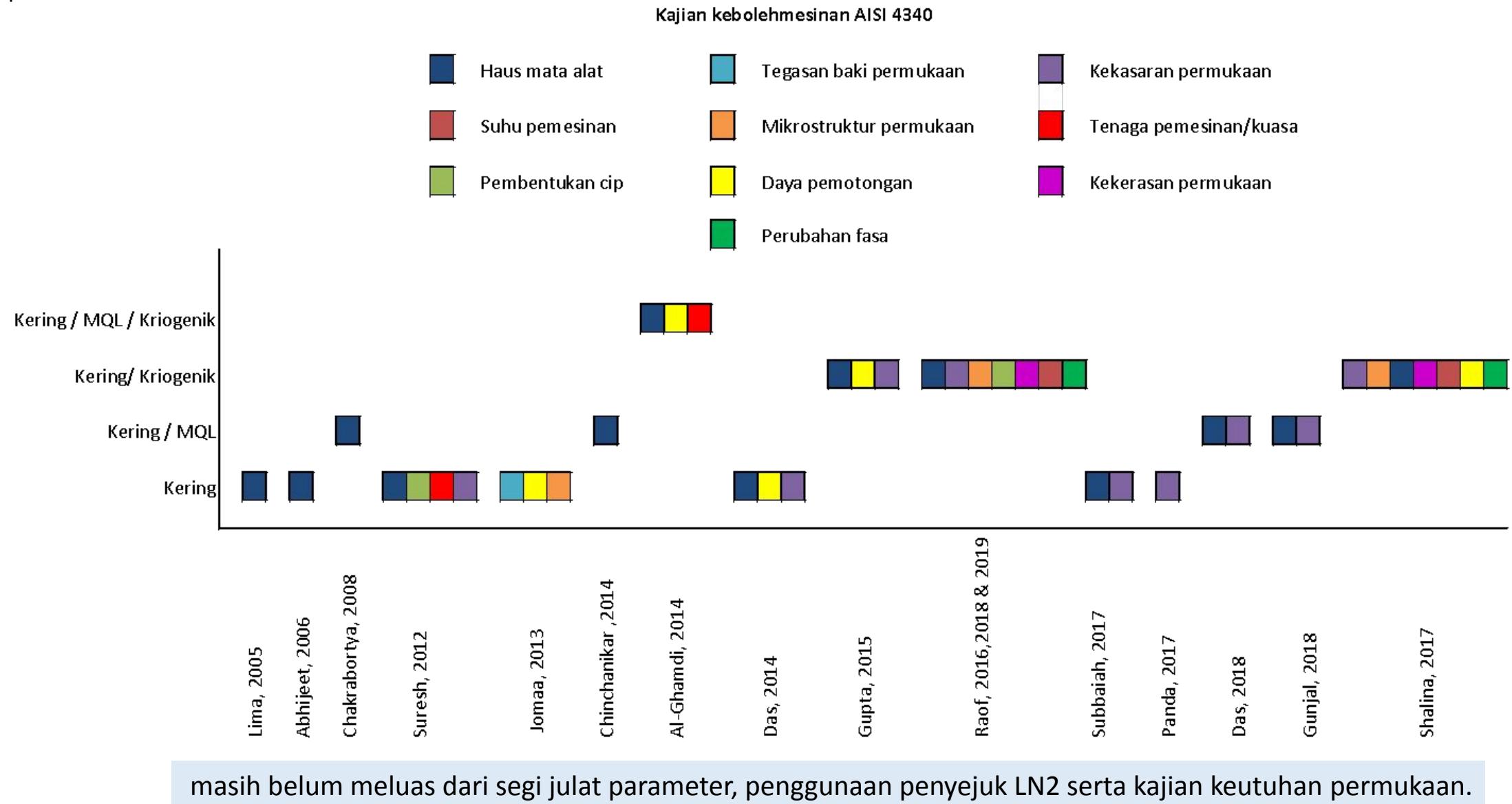
Penyataan Masalah

- Komponen automotif, aeroangkasa, dan acuan → permukaan berkualiti tinggi dengan kekuatan mekanikal yang sangat baik dan rintangan yang tinggi kepada ubah bentuk → memerlukan proses rawatan haba permukaan tambahan seperti penitridaan (nitriding) dan penyusukkarbonan (carburizing).
- Pengerasan permukaan konvensional → lebih banyak masa, ruang dan sumber → isu kualiti seperti herotan pada komponen dan perubahan isipadu disebabkan oleh tekanan dalaman yang tinggi berlaku semasa proses tersebut.
- Proses pemesinan bagi meningkatkan kekerasan permukaan (Lima et al. 2011)

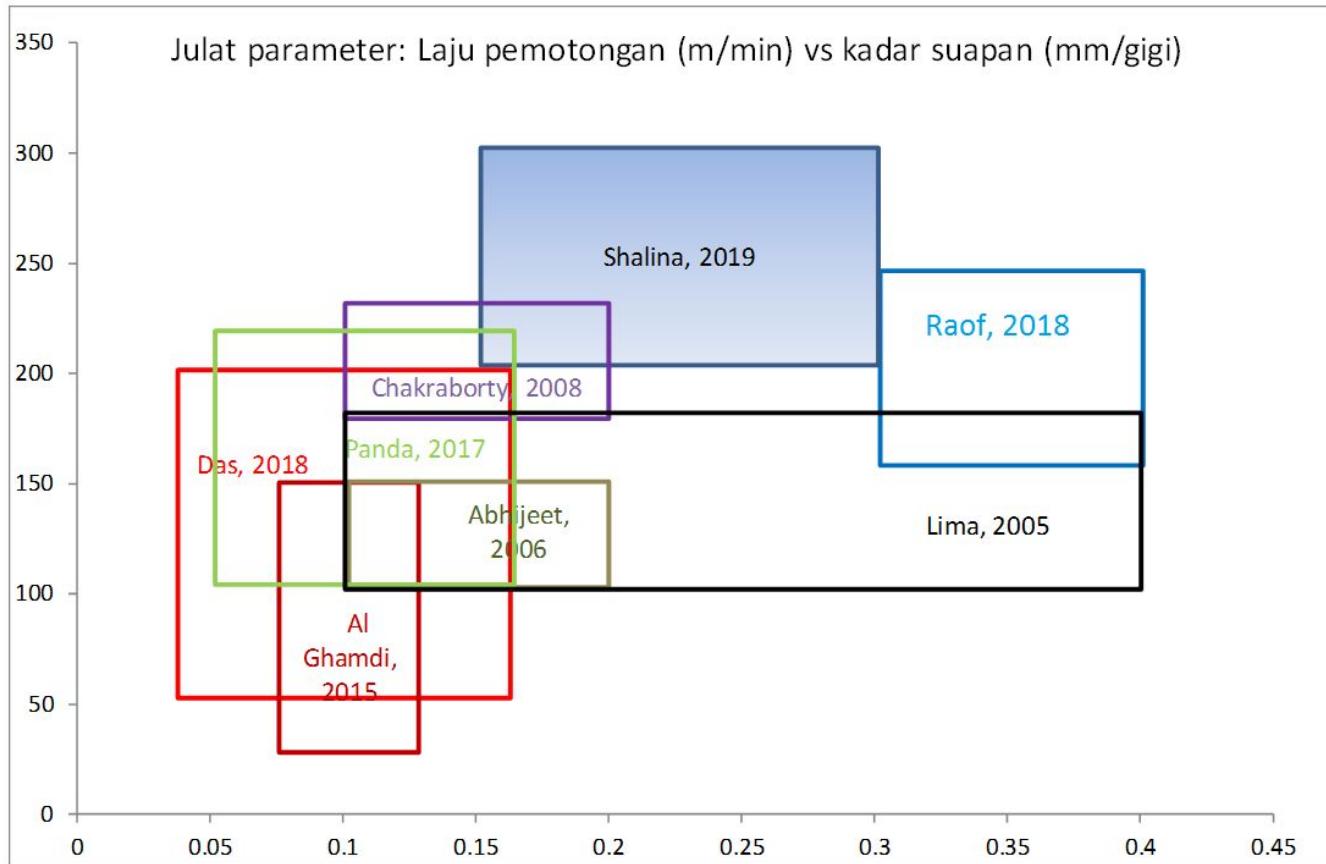
Penyataan Masalah

- Kaedah kriogenik adalah mesra alam serta mengurangkan haus mata alat, pembentukan pinggir terbina (BUE) dan dapat mengurangkan suhu terjana pada zon pemesinan (Kim et al. 2018).
- Memperbaiki keutuhan permukaan dari segi kemasan permukaan yang lebih baik, mikrostruktur yang lebih halus dan nano kekerasan yang lebih tinggi berbanding dengan pemesinan kering namun demikian, ia masih boleh diperbaiki (Raof et al. 2019).
- Oleh itu, fokus kajian ini adalah untuk mendapatkan kekerasan yang tinggi di permukaan termesin keluli AISI 4340 sekaligus memenuhi kriteria kebolehmesinan (prestasi hayat mata alat yang maksimum, kekasaran permukaan termesin yang rendah dan daya pemotongan minimum)

Kajian Kepustakaan



Kajian Kepustakaan



Skop

: AISI 4340

: Kisar/larik

: Karbida bersalut



Kajian semasa

Kajian terdahulu:

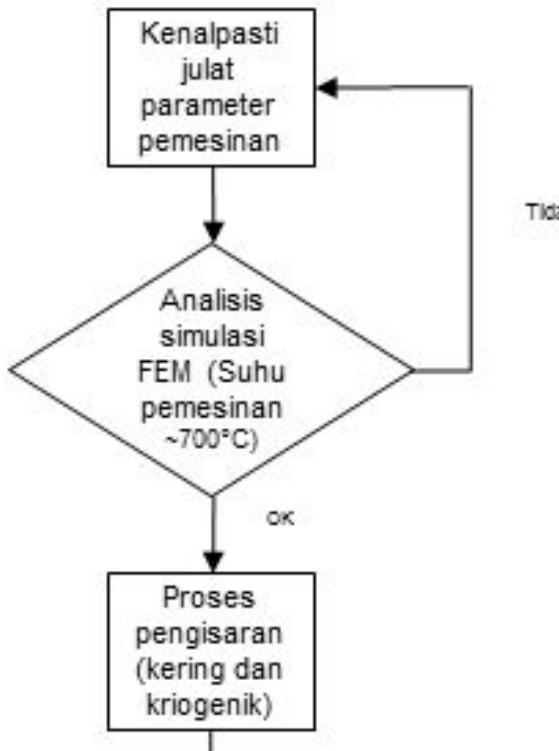
Julat parameter laju pemotongan melawan kadar suapan

Objektif Kajian

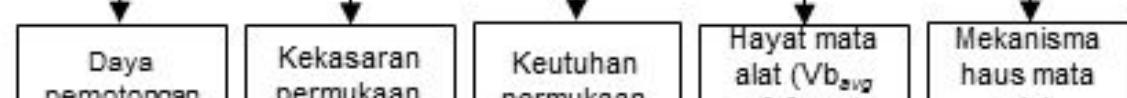
1. Menentukan julat parameter pemesinan yang boleh menghasilkan suhu pemotongan yang menyebabkan perubahan fasa bahan AISI 4340 secara simulasi menggunakan kaedah unsur terhingga (Third Wave AdvantEdge).
2. Membandingkan kesan keadaan kriogenik dan kering terhadap respon pemesinan iaitu daya paduan pemotongan, kekasaran permukaan dan hayat mata alat.
3. Mengkaji mekanisma haus mata alat selepas proses pemesinan dalam keadaan kering dan kriogenik.
4. Mengkaji keutuhan permukaan AISI 4340 proses kisar (perubahan mikrostruktur, perubahan fasa dan kekerasan-nano di bawah permukaan) dalam keadaan kriogenik.

Metodologi Kajian (Carta Alir)

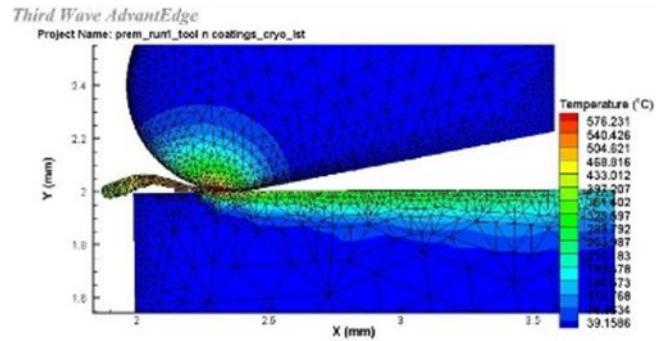
(Merangkumi objektif 1)



(Merangkumi objektif 2 & 3)



(Merangkumi objektif 4)



Metodologi Kajian

Reka bentuk kajian menggunakan kaedah Taguchi (L_9)

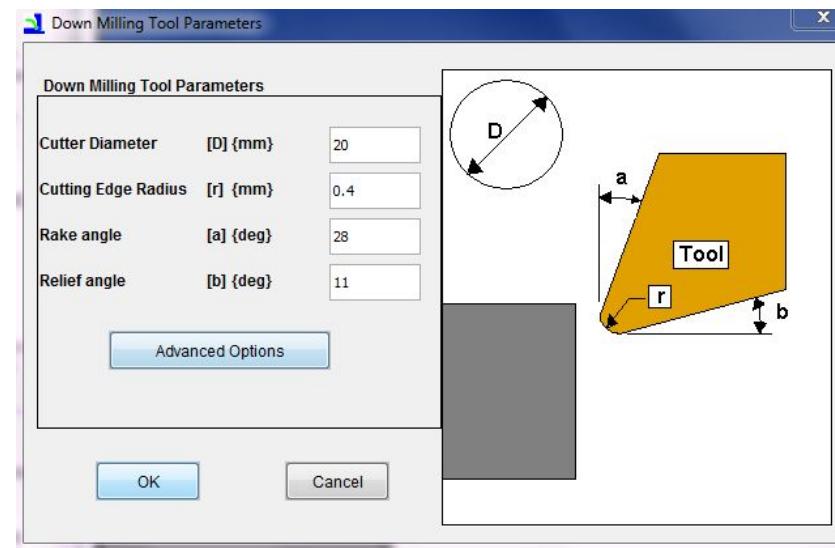
Faktor/ Aras	1	2	3
Laju pemotongan, V_c (m/min)	200	250	300
Kadar suapan, f_z (mm/gigi)	0.15	0.20	0.30
Dalam pemotongan paksi, a_p (mm)	0.30	0.40	0.50
Dalam pemotongan jejari, a_e (mm)	0.20	0.35	0.50
Sambutan kuantitatif	Kriteria		
Daya paduan pemotongan, Fr (N)	Minimum		
Kekasaran permukaan, R_a (μm)	Minimum		
Hayat mata alat (min)	Maksimum		
Sambutan kualitatif			
Mekanismal haus	-		
Keutuhan permukaan	-		

Gabungan parameter pemesinan L₉

No. eksperimen	Vc (m/min)	fz (mm/gigi)	ap (mm)	ae (mm)
1	200	0.15	0.3	0.20
2	200	0.20	0.4	0.35
3	200	0.30	0.5	0.50
4	250	0.15	0.5	0.35
5	250	0.20	0.3	0.50
6	250	0.30	0.4	0.20
7	300	0.15	0.4	0.50
8	300	0.20	0.5	0.20
9	300	0.30	0.3	0.35

Metodologi Kajian (kaedah unsur terhingga)

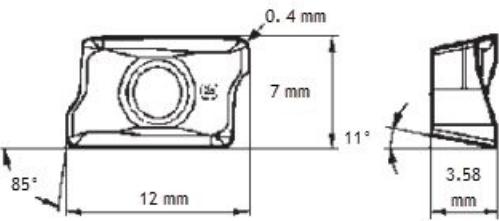
- AISI 4340 M dan karbida bersalut gred P dipilih sebagai jenis bahan kerja dan mata alat
- Ketebalan salutan mata alat telah ditetapkan sebagai satu lapisan TiAlN dengan ketebalan 0.003 mm.



Model simulasi kaedah unsur terhingga *Thirdwave AdvantEdge*

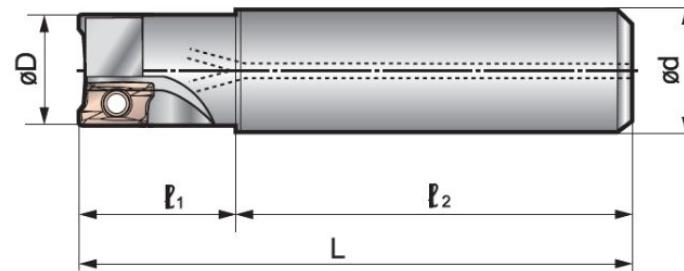
Metodologi Kajian (Peralatan dan pengukuran)

Spesifikasi Proses kisar	
Mesin	CNC DMC 635 Eco
Mata alat/ salutan	ACP 200 Sumitomo / TiAlN/AlCrN
Strategi pemotongan	Pengisaran bawah

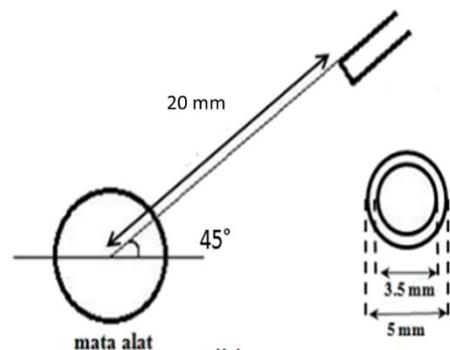


Gambarajah skema mata alat AXMT 123504 PEERG

Perincian geometri pemegang mata alat dan mata alat	
<i>D</i>	20 mm
<i>L</i>	110 mm
Bilangan mata alat	3
Sudut lega	11°
Sudut sadak	28°

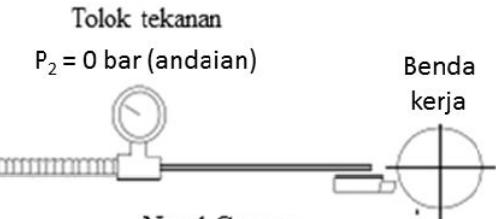
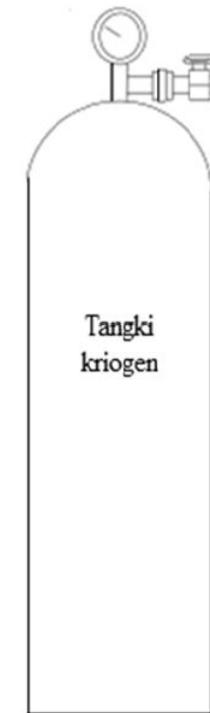


Gambarajah skema pemegang mata alat WEX 2020E



Gambarajah skematic jajaran kedudukan nozel dengan mata alat

Tolok tekanan
 $P_1 = 3$ bar



Hos fleksibel
Paip 1
 $L_1 = 2$ m
 $D_1 = 7.5$ mm

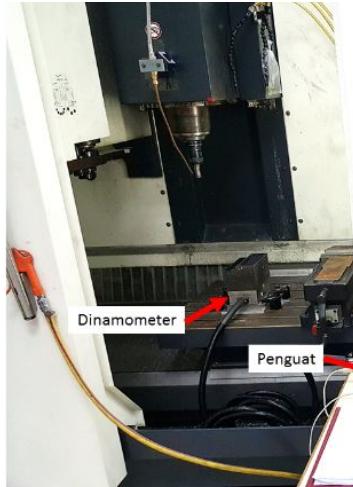
Nozel Copper
Paip 2
 $L_2 = 0.5$ m
 $D_2 = 3.5$ mm

Gambarajah skematic sistem penyejukan

Komposisi kimia bahan benda kerja AISI 4340 (wt.%)			
C	0.36	S	0.002
Si	0.33	Cr	1.7
Mn	0.8	Mo	0.22
P	0.014	Ni	1.32

Metodologi Kajian (Peralatan dan pengukuran)

Pengukuran



Dinamometer



Mikroskop pembuat mata alat



Mikroskop stereo



Alat pengukur kekasaran permukaan mudah alih

Analisis sampel



Belauan sinar-X (XRD) X'Pert PRO



Mikroskop pancaran medan imbasan elektron (FESEM) MERLIN Compact



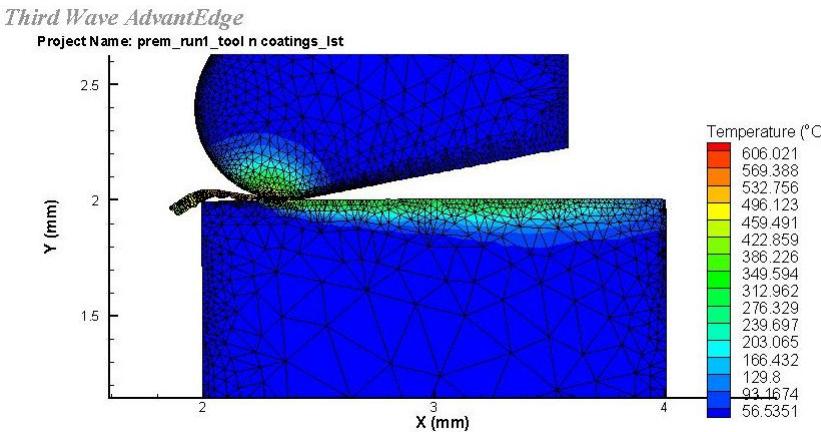
Mikroskop pancaran medan imbasan elektron (FESEM) Gemini SEM 500



Pengukur kekerasan nano Micro Materials

Keputusan dan Perbincangan

Simulasi FEM-Suhu pemotongan

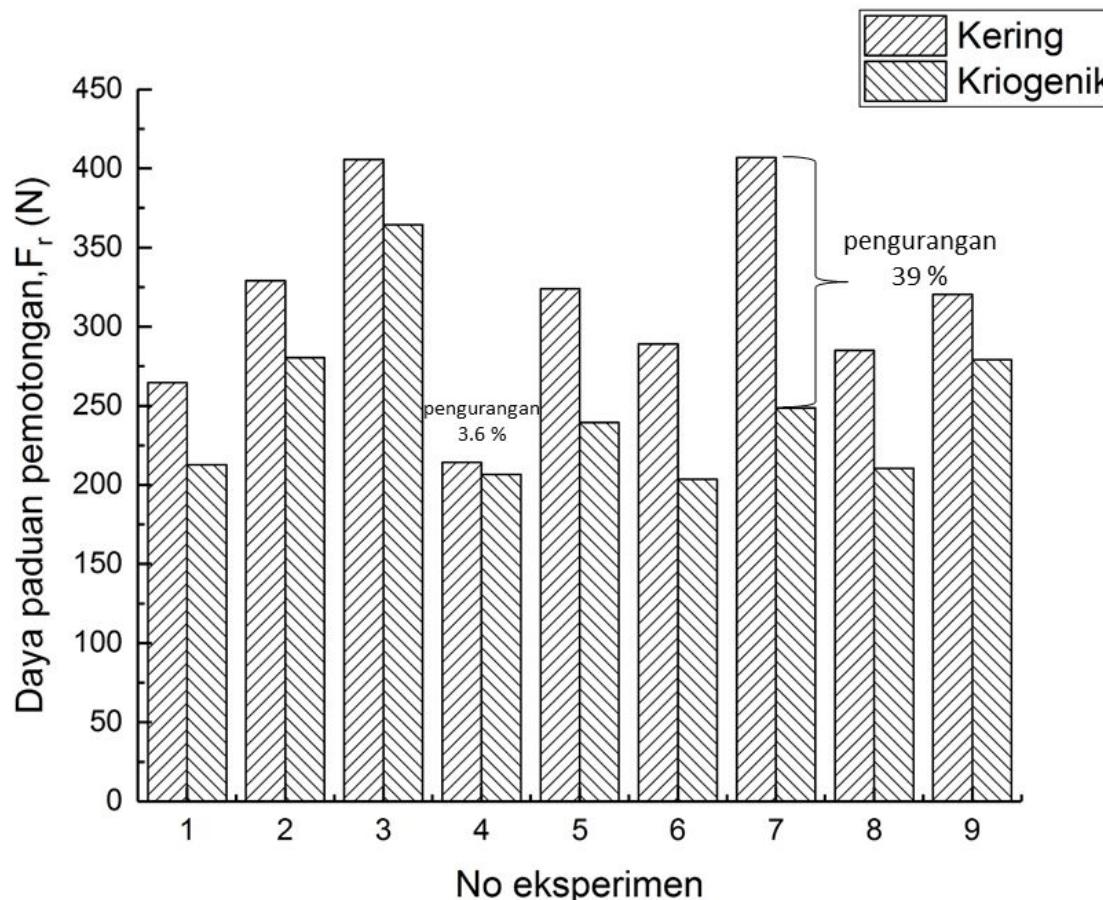


Taburan suhu semasa proses kisar kering menggunakan perisian *ThirdWave AdvantEdge* pada V_c : 200 m/min, f_z : 0.2 mm/gigi, a_e : 0.4 mm, a_p : 0.35 mm

Penemuan:

- 606-1059°C (kering)
- suhu paling tinggi berlaku pada antara kawasan pertengahan sentuhan permukaan mata alat-serpihan iaitu pada zon ubahbentuk sekunder
- paling dipengaruhi oleh a_e , f_z dan V_c
- peningkatan pada dalam $a_e \rightarrow$ daya pemotongan \rightarrow peningkatan geseran dan jumlah bahan yang dibuang.
- Apabila daya pemotongan meningkat, kekuatan ricih di zon pemotongan juga meningkat dan menyebabkan suhu pemotongan meningkat.

Daya paduan pemotongan

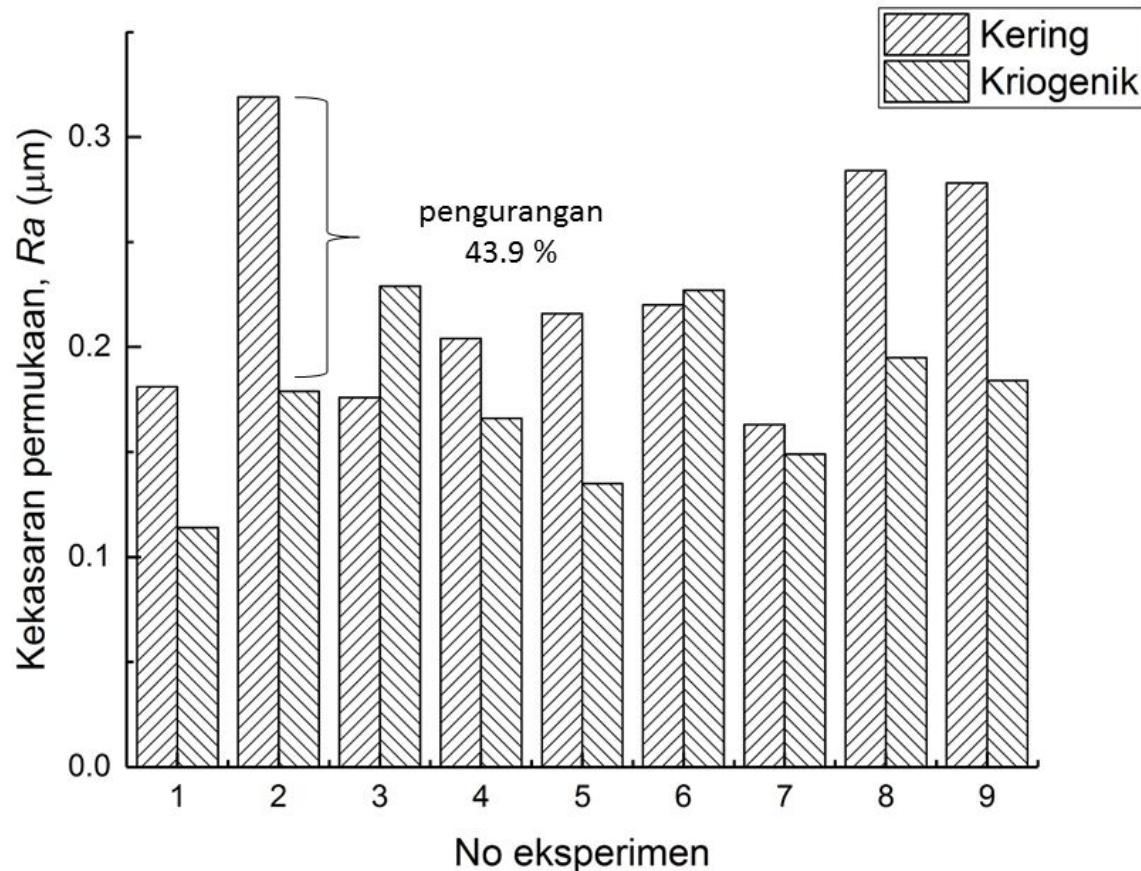


Perbezaan daya paduan pemotongan bagi kaedah kering dan kriogenik

Penemuan:

- 204-407 N
- ae , Vc dan fz
- aplikasi LN₂ mengurangkan jarak sentuhan mata alat-serpihan, mengurangkan haus pada pinggir mata alat dan serpihan yang berpintal → pengurangan dalam Fr
- memperbaiki aliran serpihan dan mengurangkan pekali geseran antara muka alat dan serpihan → Fr yang lebih rendah

Kekasaran permukaan

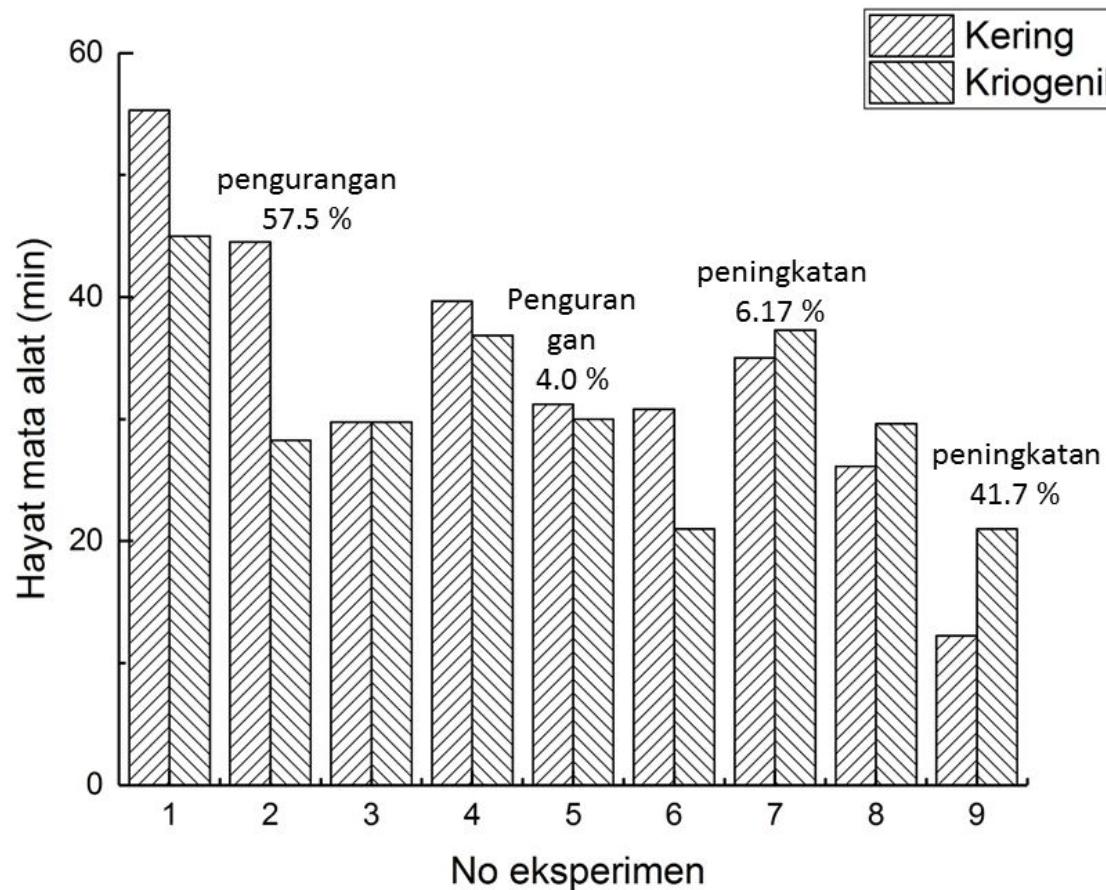


Perbezaan kekasaran permukaan bagi kaedah kering dan kriogenik

Penemuan:

- 0.114-0.319 μm
- f_z signifikan
- mengurangkan kecenderungan serpihan melekat pada pinggir mata alat → mengurangkan geseran
- menjana filem pelincir hidrodinamik antara benda kerja dan mata alat → pengurangan pekali geseran

Hayat mata alat

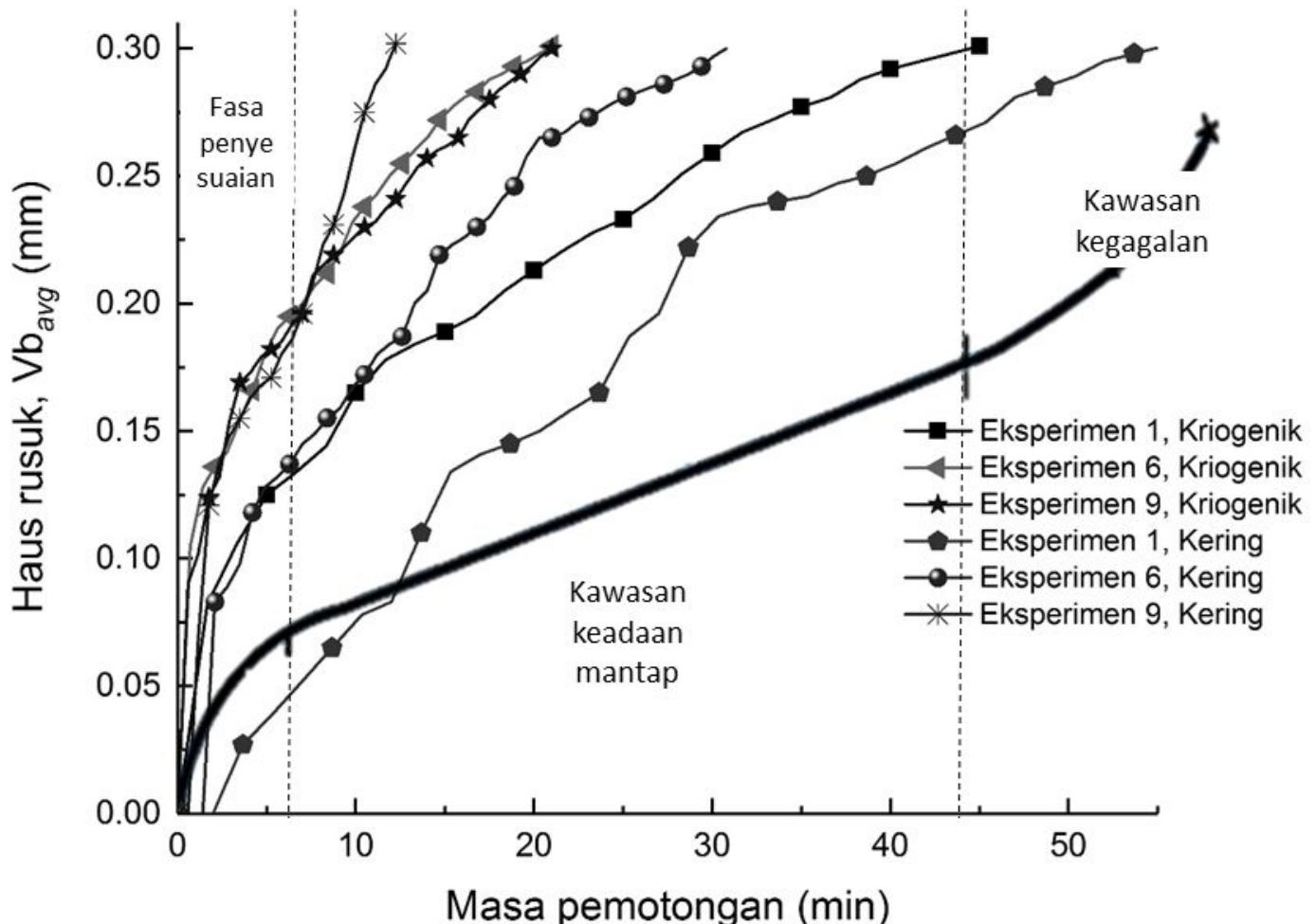


Perbezaan hayat mata alat bagi kaedah kering dan kriogenik

Penemuan:

- 12.25-55.30 min
- V_c dan f_z
- Penggunaan kriogenik meningkatkan prestasi hayat mata alat pada parameter pemesinan yang lebih tinggi.
→ mengurangkan geseran seterusnya mengurangkan kadar haus disebabkan mekanisma lelasan dan rekatan

Hayat Mata Alat

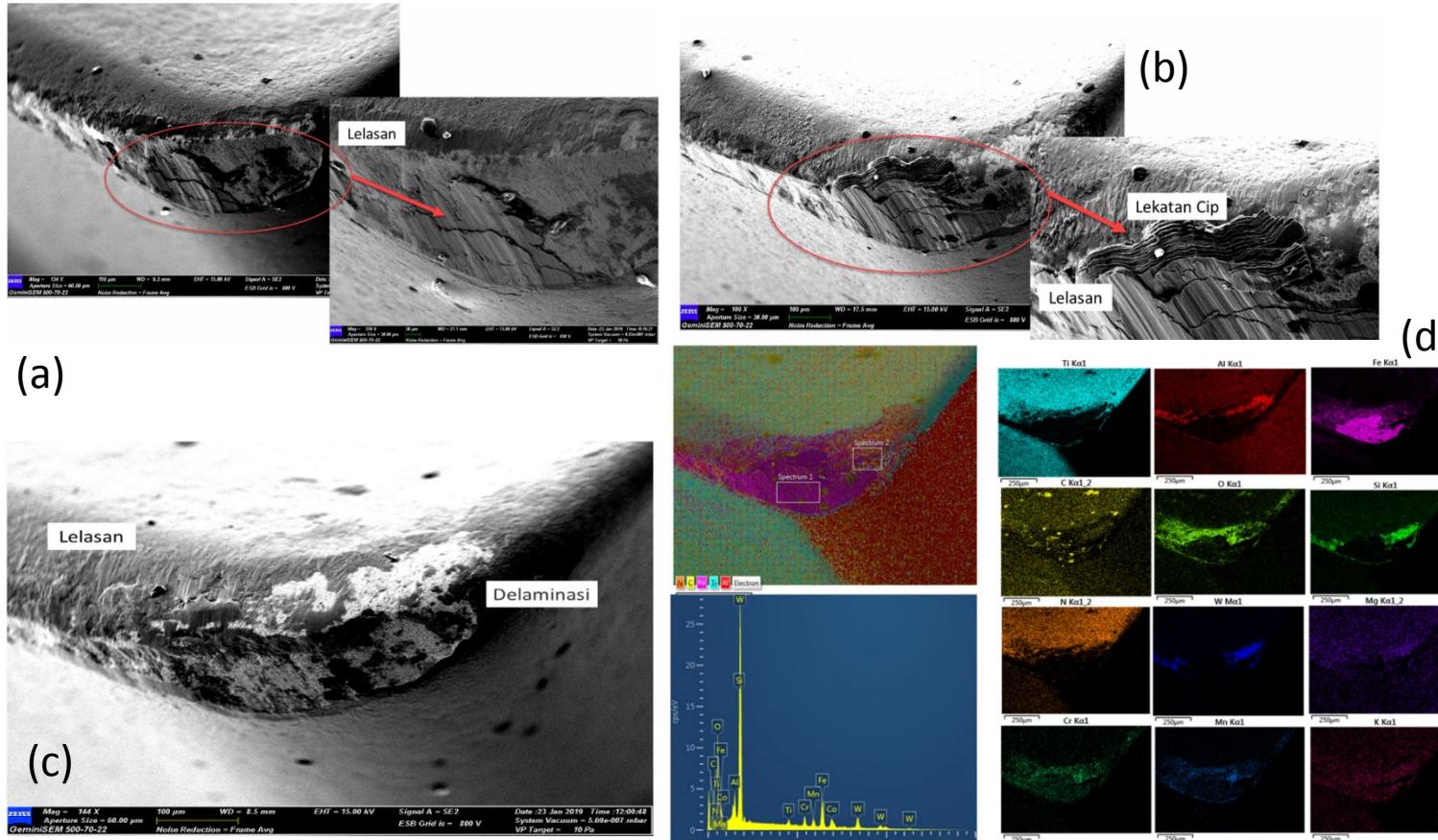


Jangka hayat mata alat 3 eksperimen dalam keadaan kering dan kriogenik
(Eksperimen 1, 6 dan 9)

Penemuan:

- corak peningkatan hayat mata alat yang sama dalam keadaan kering dan kriogenik.
- Hayat mata alat yang sama diperolehi untuk eksperimen 6 dan 9 dalam keadaan kriogenik → meningkatkan prestasi mata alat pada parameter pemesinan yang lebih tinggi.

Mekanisma Haus Mata Alat

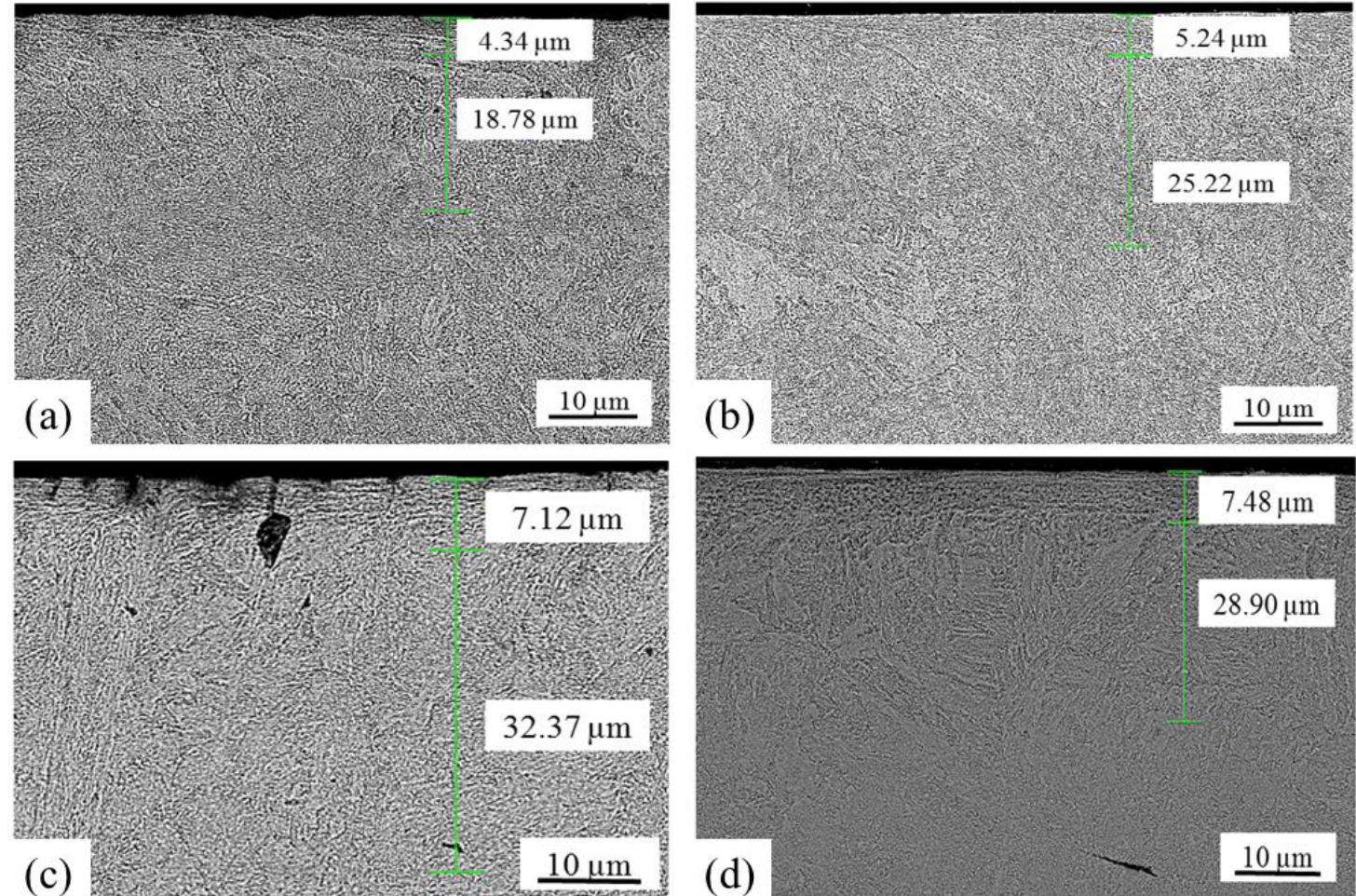
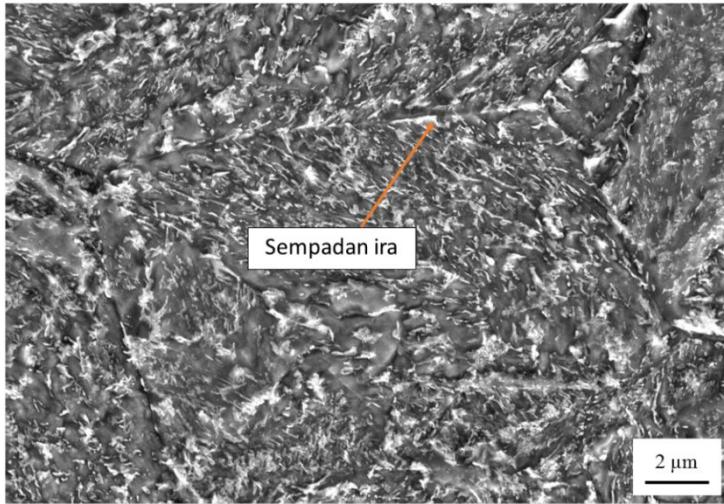


Pandangan isometrik mata alat yang digunakan dalam eksperimen
hayat mata alat (a) 1 ,(b) 6 ,(c) 9 dan (d) analisis spektrum EDAX sebagai
pembuktian kehadiran haus rekatan pada Eksperimen 6

Penemuan:

- Lelasan dan rekatan
- Kehadiran partikel **Fe**, **Mn** dan **C** dari AISI 4340 dan **W** dari substrat asal mata alat
- Bahan AISI 4340 bersifat pelelas dan bertindak menghakis bahan salutan → salutan tertanggal hingga mendedahkan substrat
- Tanpa bahan salutan-saiz haus rusuk meningkat

Perubahan mikrostruktur

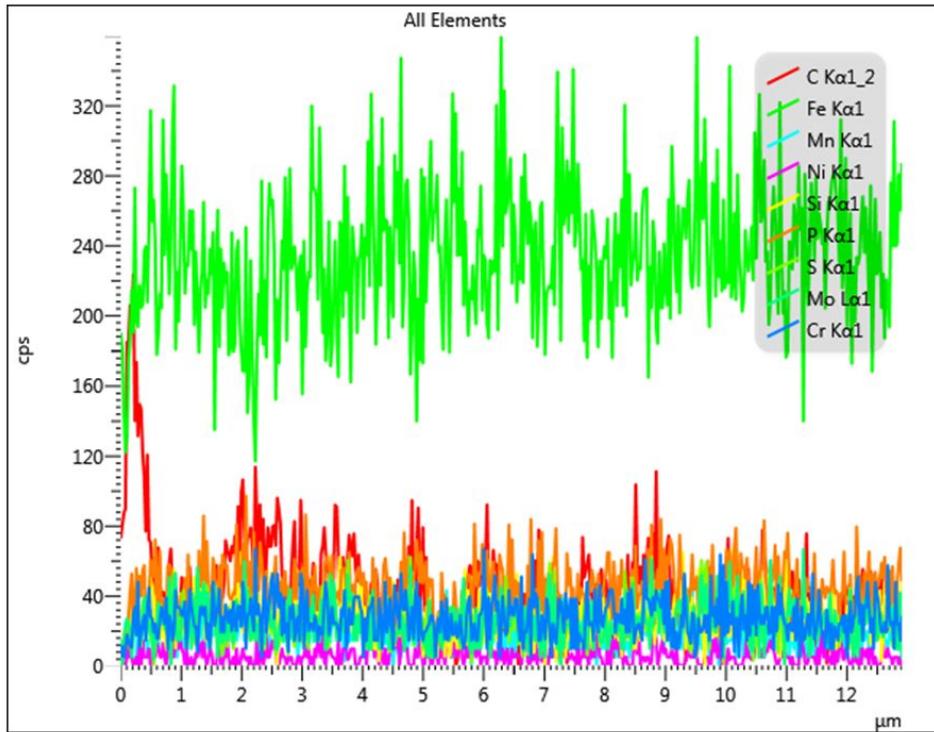


Penemuan:

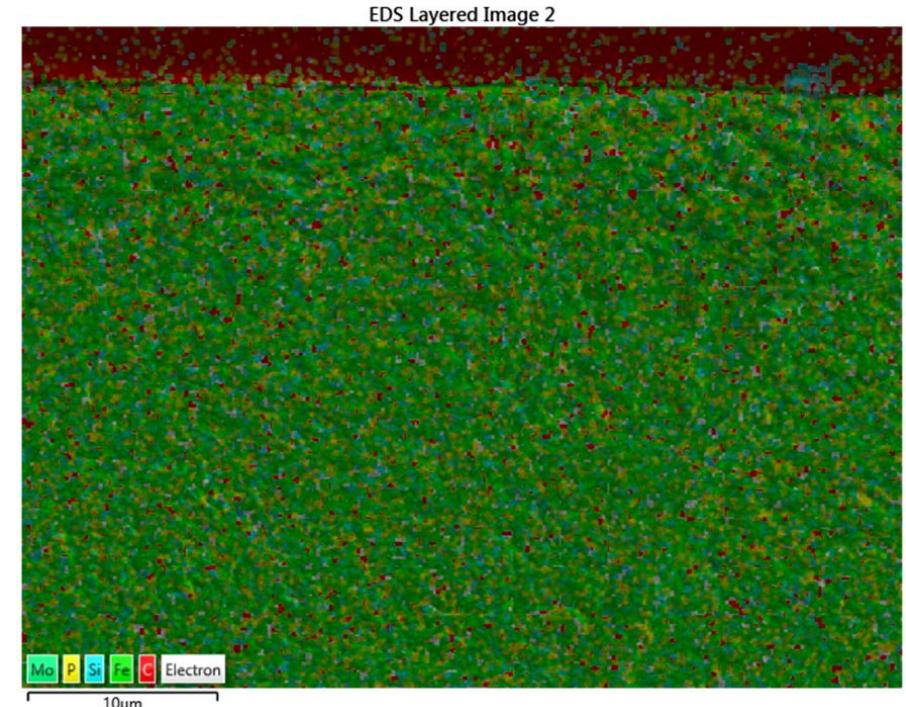
- Lapisan yang terjejas oleh pemesinan: 23.11- 39.49 μm
- Lapisan ini terhasil dari pemanasan pantas dan pelindapan dan membawa kepada mikrostruktur bersaiz nano yang berbeza dengan mikrostruktur pada lapisan pukal.

Kedalaman lapisan penghalusan (RL) dan lapisan transisi (TL) Eksperimen
(a) 1, (b) 4, (c) 6 dan (d) 9

Perubahan mikrostruktur



Garis imbasan sepanjang ketebalan 0-13 μm eksperimen 9

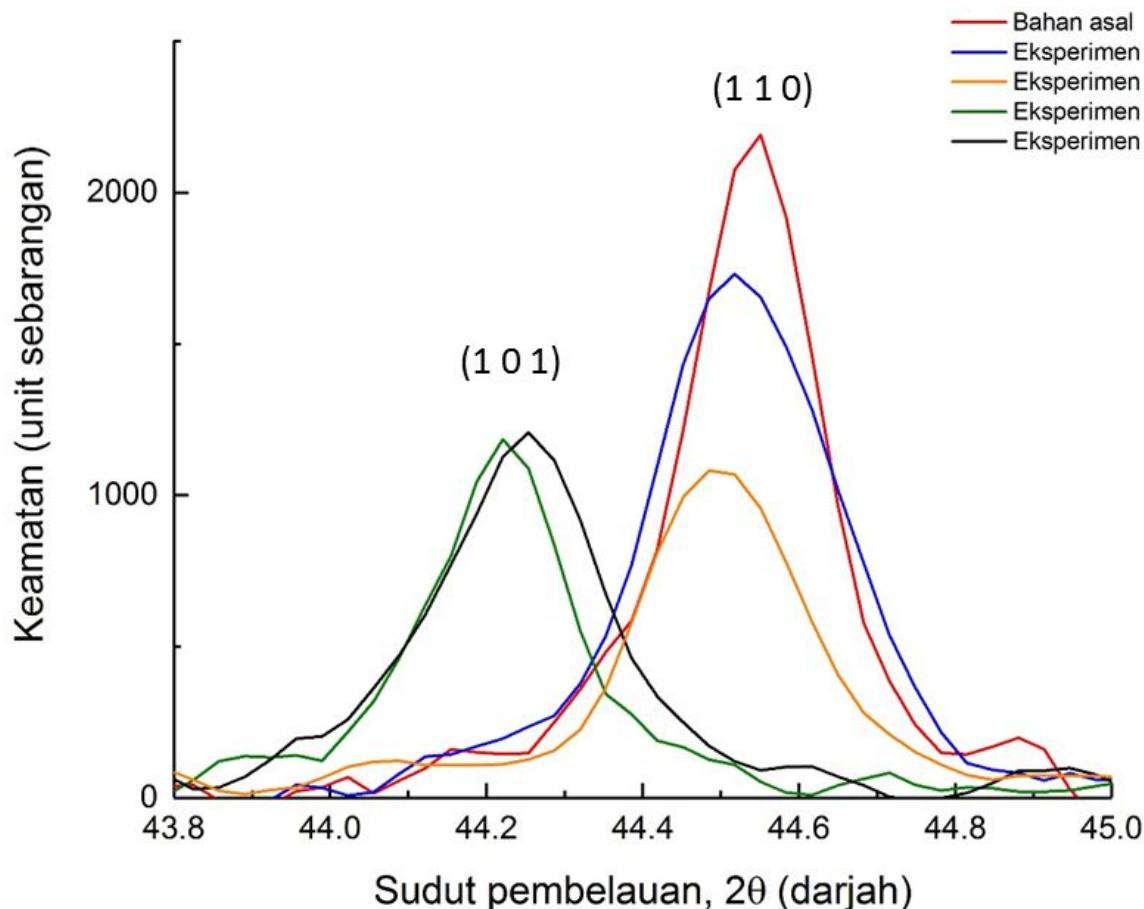


Analisis pemetaan EDAX eksperimen 9

Penemuan:

- Peningkatan C → meningkatkan kekuatan keluli dan jumlah partikel karbida yang besar → peningkatan kekerasan permukaan
- Komposisi kimia memainkan peranan dalam kekerasan

Perubahan fasa

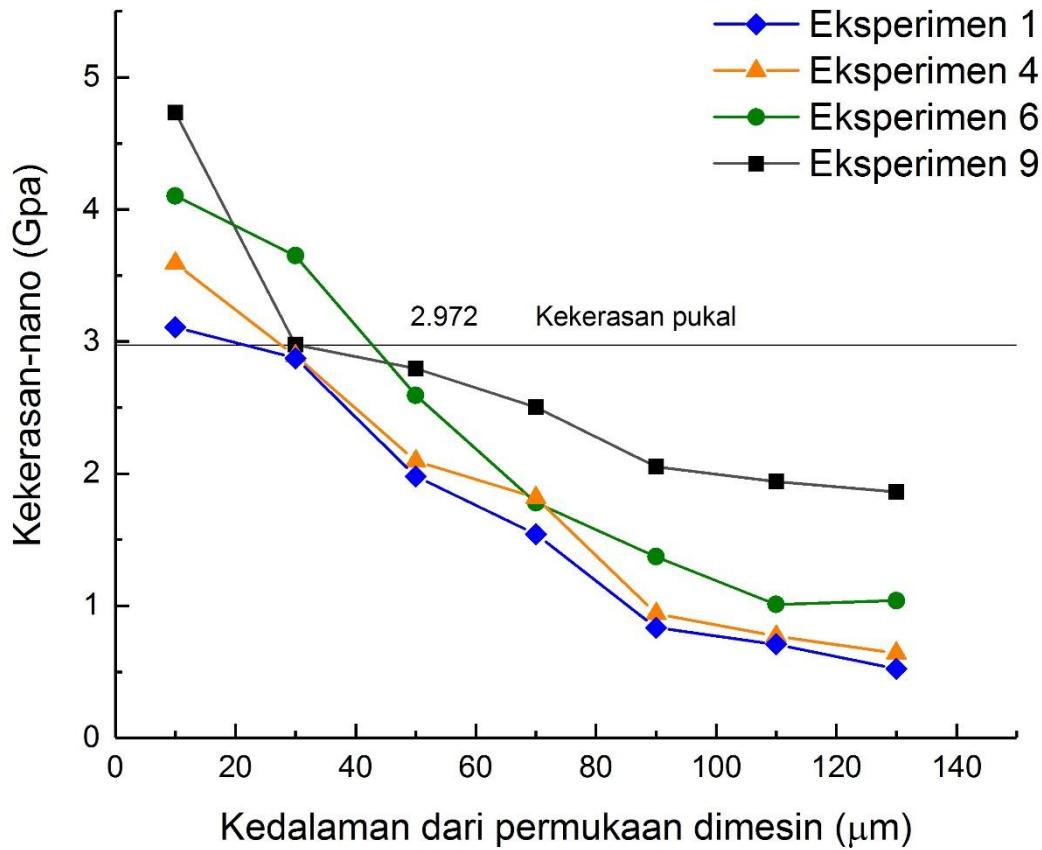


Puncak pada sudut pembelauan 43.8 ke 45.0 darjah untuk bahan asal, Eksperimen 1, 4, 6 dan 9

Penemuan:

- Pelebaran puncak dan teranjak ke kiri → ubah bentuk plastik dan pembentukan dislokasi (herotan kekisi kristal & terikan mikro) → saiz ira lebih kecil
- PDF2-2015, Puncak ferit- α (110) indeks Miller pada bahan asal, eksperimen 1 dan 4, Puncak martensit (101) indeks Miller pada eksperimen 6 dan 9.
- suhu pemesinan tinggi & kadar penyejukan yang pantas → perubahan fasa

Kekerasan nano



Kekerasan nano bagi sampel Eksperimen 1, 4, 6 dan 9

Penemuan:

- 3.11– 4.71 Gpa
- Kekerasan meningkat sehingga **59 %** dari kekerasan pukal
- semakin tinggi laju pemotongan dan kadar suapan → semakin tinggi kekerasan dan ketebalan lapisan yang terjejas
- peningkatan kekerasan→terikan pengerasan (*strain hardening*) dan penghalusan ira
- kedalaman lapisan bagi eksperimen 4, 6 dan 9 adalah setara dengan kedalaman selongsong cetek (*shallow case*) daripada proses pengerasan permukaan.

Kesimpulan

Objektif 1

Menentukan julat parameter pemesinan yang boleh menghasilkan suhu pemotongan yang menyebabkan perubahan fasa bahan AISI 4340 secara simulasi menggunakan kaedah unsur terhingga (Third Wave AdvantEdge).

Kesimpulan 1

- paling dipengaruhi oleh ae , fz dan Vc .
- Suhu terjana mampu menyebabkan perubahan fasa bahan

Kesimpulan

Objektif 2

Membandingkan kesan keadaan kriogenik dan kering terhadap respon pemesinan iaitu daya paduan pemotongan, kekasaran permukaan dan hayat mata alat.

Kesimpulan 2

- **Daya paduan pemotongan** : paling dipengaruhi oleh ae , Vc dan fz
: pengurangan sehingga **39%** dari keadaan kering

- **Kekasaran permukaan** : fz adalah paling signifikan bagi kedua-dua keadaan
: pengurangan sehingga **43.9%** dari keadaan kering

- **Hayat mata alat** : meningkatkan prestasi hayat mata alat sehingga **41.7%**
pada parameter pemesinan yang lebih tinggi
: LN2 mengurangkan suhu pemotongan seterusnya dapat melambatkan kadar haus

Kesimpulan

Objektif 3

Mengkaji mekanisma haus mata alat selepas proses pemesinan dalam keadaan kering dan kriogenik.

Kesimpulan 3

- Lelasan dan rekatan merupakan mekanisma haus utama yang berlaku pada rusuk mata alat
- Pengurangan suhu pemotongan akan mengurangkan geseran antara bahagian benda kerja yang baru dimesin dan permukaan alat, seterusnya menurunkan kadar haus

Kesimpulan

Objektif 4

Mengkaji keutuhan permukaan AISI 4340 proses kisar (perubahan mikrostruktur, perubahan fasa dan kekerasan-nano di bawah permukaan) dalam keadaan kriogenik

Kesimpulan 4

- Lapisan yang terjejas oleh pemesinan (23.11- 39.49 μm) adalah setara dengan nilai kedalaman kekerasan nano bahan (22-42 μm) mula menyamai nilai kekerasan pukal bahan
- nilai kekerasan nano dan ketebalan lapisan terjejas meningkat dengan nilai V_c , f_z dan a_p
- sampel mengalami pelebaran puncak dan teranjak ke kiri disebabkan oleh ira yang halus dan dislokasi iaitu herotan kekisi kristal dan terikan mikro. Puncak ferit- α dan martensit ditemui pada sampel permukaan termesin.

Sumbangan Kajian

- Daya paduan pemotongan yang terhasil melalui kaedah kriogenik adalah lebih rendah berbanding kaedah kering. Hayat mata alat bagi pengisaran kriogenik akan menjadi lebih singkat berbanding kaedah kering pada parameter pemesinan yang rendah. Kaedah penyejukan kriogenik dapat menghasilkan nilai kemasan permukaan ultra yang menyamai proses canai.
- Partikel karbida dan martensit/austenit (M/A) pada permukaan termesin merupakan salah satu faktor yang menyumbang kepada peningkatan kekerasan di permukaan termesin.
- Nilai kedalaman kekerasan adalah setara dengan dalam selongsong cetek (*shallow case depth*) dari proses pengerasan permukaan konvensional.
- Kedalaman lapisan yang terjejas oleh pemesinan (23.11 - 39.49 μm) adalah berkadar dengan kekerasan nano kembali kepada kekerasan pukal iaitu pada jarak 22 - 42 μm dari permukaan.

Batasan kajian

- Masalah peralatan yang rosak
- Perlu perancangan rapi kerana masa menunggu yang panjang untuk penggunaan peralatan

Dapatan penyelidikan dan implikasinya ke atas dasar-dasar kerajaan yang berkaitan

- Memajukan Bidang bidang Penyelidikan dan Pembangunan Saintifik dan Sosial, dan Pengkomersialan (R,D&C);
- menggalakkan penggunaan S & T sebagai satu alat untuk pembangunan ekonomi, membaiki kedudukan fizikal dan kesejahteraan rakyat dan untuk melindungi kedaulatan negara, yang merupakan sebahagian daripada dasar pembangunan sosioekonomi negara
- Pemindahan teknologi akan digalakkan dan disokong dengan latihan, perjanjian kerjasama, usaha P & P dan satu mekanisma perlu ditubuhkan untuk mengkaji kemajuan pemindahan teknologi melalui aktiviti pengawasan, penilaian dan kajian.

TERIMA KASIH