

## Pembangunan Pangkalan Data Daya Pemotongan S45C untuk Pemonitoran Status Haus Mata Alat

(Development of Cutting Force Database in Machining S45C For Monitoring the Status of Cutting Tool Wear)

Fatin Nasha Izaty Mohd Nasir<sup>a</sup>, Ulul Azmi<sup>a</sup>, Muhammad Rizal<sup>b</sup>, Jaharah A. Ghani<sup>a\*</sup>, Haniff Abdul Rahman<sup>a</sup> & Mohd. Zaki Nuawi<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jabatan Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,

Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi Selangor, Malaysia

<sup>b</sup>Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Syiah Kuala University, Indonesia.

\*Corresponding author: jaharahghani@ukm.edu.my

Received 5 January 2023, Received in revised form 28 February 2023

Accepted 28 March 2023, Available online 30 September 2023

### ABSTRACT

The process of machining involves the removal of metal from the work material using one or more cutting tool and depending on the type of machine and machining process such as turning, milling, or grinding processes. These are the major machining processes in the manufacturing industry. In this study, a turning process of S45C carbon steel work material was conducted using a carbide cutting tool. Due to its desirable characteristics in term of qualities and affordable for mass production, S45C material is frequently used in the industry to produce automotive components. The focus of this study was to develop a database for monitoring the condition of the cutting edge during the machining operation by referring to the cutting force and the average of flank wear land (VB) at the cutting edge. The machining process was conducted in a dry condition without lubricants or coolants. The machining parameters used were cutting speed,  $V = 200$  m/min, feed rate,  $f = 0.2$  mm/rev, and depth of cut,  $d = 0.25$  mm. The machining condition chosen in this study is similar with the machining condition used in the industry for machining S45C. The machining results found that the tool life was 119 minutes at flank wear,  $V_b = 0.3$  mm. The relationship between cutting force and flank wear has been developed to establish a database based on the 2D I-Kaz coefficient. The 2D I-Kaz coefficient is then used for the purpose of monitoring and predicting the status of the cutting tool condition in the next machining process. The online monitoring of the cutting tool condition is expected to be able to control the quality of the components produced as well as to ensure that only worn-out cutting tool is replaced.

**Keywords:** Material S45C; Cutting force; Online monitoring of the cutting tools; Turning process; 2D I-Kaz coefficient.

### ABSTRAK

Proses pemesinan merupakan proses bagi menyingkirkan logam daripada bahan kerja dengan menggunakan mata alat tunggal atau pelbagai bergantung kepada jenis mesin dan kaedah pemesinan yang digunakan seperti proses larik, kisar atau gerudi. Proses-proses pemesinan tersebut merupakan proses yang utama dalam industri pembuatan. Dalam kajian ini, proses pemesinan larik dilakukan terhadap bahan kerja keluli karbon, S45C menggunakan mata alat karbida. Bahan S45C banyak digunakan di industri dalam pembuatan komponen automotif kerana sifat dan harganya yang sesuai untuk pengeluaran massa. Fokus kajian ini adalah untuk membangunkan satu pangkalan data bagi tujuan pemonitoran keadaan mata alat dengan merujuk kepada daya pemotongan dan haus rusuk mata alat. Proses pemesinan larik dijalankan dalam keadaan kering tanpa bahan pelincir atau penyejuk. Parameter larik yang digunakan adalah laju pemotongan,  $V = 200$  m/min, kadar suapan,  $f = 0.2$  mm/putaran, dan dalam pemotongan,  $d = 0.25$  mm. Parameter pemesinan yang dipilih dalam kajian ini adalah sama dengan parameter pemesinan yang digunakan dalam industri

untuk pemesinan S45C. Hasil ujikaji mendapati hayat mata alat ialah 119 minit pada haus rusuk,  $V_b = 0.3 \text{ mm}$ . Perkaitan antara daya pemotongan dan haus rusuk telah dibangunkan bagi menubuhkan pangkalan data berdasarkan pekali I-Kaz 2D. Pekali I-Kaz 2D kemudian digunakan bagi tujuan pemantauan dan meramal status keadaan mata alat dalam proses pemesinan yang seterusnya. Pemantauan atas talian keadaan mata alat dijangka akan dapat mengawal kualiti komponen yang dihasilkan serta untuk memastikan hanya mata alat yang rosak sahaja akan diganti.

*Kata kunci:* Bahan S45C; daya pemotongan; pemantauan atas talian keadaan mata alat, proses larik; pekali I-Kaz 2D

## PENGENALAN

Pemotongan logam atau lebih dikenali sebagai proses pemesinan merupakan sejenis proses di mana bahan kerja iaitu logam, akan disingkirkan secara lapisan nipis yang mana kemudiannya akan menghasilkan serpihan. Proses penyingkiran ini dilakukan dengan menggunakan mata alat yang bersesuaian, bergantung kepada jenis bahan yang akan dipotong bagi mendapatkan geometri yang dikehendaki. Proses ini merupakan salah satu tonggak utama dalam industri pembuatan, khususnya bagi industri automotif, marin, aeronautik dan sebagainya. Terdapat beberapa jenis proses pemesinan tradisional yang masih digunakan dalam industri pembuatan, antaranya proses larik, proses kasar dan proses gerudi (Yusoff et al. 2011). Kajian mengenai pemesinan juga banyak dilakukan dengan bantuan simulasi unsur terhingga (FEM) seperti yang dilakukan oleh Mughal et al. (2023) yang menilai prestasi tanduk komposit ultrasonik bagi pemesinan komposit yang lembut dan rapuh.

Proses larik merupakan salah satu daripada proses pemotongan konvensional yang telah diamalkan sejak turun-temurun. Proses ini sesuai untuk digunakan bagi memotong bahan kerja yang mempunyai geometri berbentuk silinder manakala mata alat yang digunakan pula adalah daripada jenis mata alat bermata tunggal. Konsep bagi proses larik ialah apabila proses pemotongan berlaku secara sentuhan terus antara mata alat dengan bahan kerja yang berputar mengikut kelajuan yang telah ditetapkan pada mesin (Junaidi 2019). Pembentukan serpihan akan terhasil sejourus berlakunya sentuhan antara bahan kerja dengan mata alat tersebut. Pembentukan bagi serpihan ini mempunyai kaitan rapat dengan parameter yang digunakan semasa proses pemesinan. Bukan itu sahaja, parameter yang digunakan turut memberi impak terus kepada hasil pemesinan bahan kerja. Haba yang terjana semasa proses pemesinan juga akan mempengaruhi keutuhan permukaan yang dihasilkan (Othman et al. 2018), yang mana pada laju pemotongan yang tinggi (350 m/min) mengakibatkan kesan pemanasan berbanding dengan laju pemotongan yang lebih rendah dalam proses larik bahan A390 menggunakan mata alat karbida.

Keluli karbon S45C merupakan salah satu daripada keluli karbon yang tergolong di dalam kategori keluli

karbon pertengahan. Kandungan komposisi bagi keluli karbon pertengahan ini terdiri daripada elemen karbon sebanyak 0.30% sehingga 0.60% dan mangan sebanyak 0.60% sehingga 1.65% yang mana membezakan ia dengan keluli karbon rendah. Keluli karbon ini sering digunakan dalam pembuatan aci, gear, gandar, rel, aci engkol dan sebagainya (Singh 2016). Keluli karbon pertengahan sering digunakan dalam industri yang memerlukan tahap kekuatan yang lebih tinggi berbanding kelas bawahannya. Sebagai contoh, penggunaan dalam industri jentera, automotif dan pertanian (gear, gandar, rod penyambung, dan aci engkol), peralatan kereta api, dan bahagian untuk jentera kerja logam (Kalpakjian et al. 2013).

Kebolehan untuk meramal penggunaan parameter pemotongan yang terbaik adalah sangat penting kerana ia dapat membantu untuk mencapai tahap kualiti dan prestasi pemesinan yang diinginkan sebelum proses tersebut dilakukan. Berdasarkan kajian-kajian yang telah dijalankan oleh penyelidik terdahulu, terdapat beberapa faktor yang telah dikenalpasti mampu mempengaruhi hasil pemesinan yang dijalankan, seperti laju pemotongan, kadar suapan, kedalaman pemotongan, kaedah pemesinan yang dijalankan dan sebagainya (Junaidi 2019; Talib 2010). Sekiranya komponen yang terhasil tidak memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh industri, maka akan terjadinya peningkatan kos dan masa akibat daripada pemesinan semula yang perlu dijalankan. Selain itu, kegagalan yang terjadi pada mata alat turut memainkan peranan penting dalam proses pemesinan. Sekiranya mata alat gagal atau patah semasa proses pemesinan berlangsung, ia bukan sahaja akan merosakkan permukaan bahan kerja yang dimesin, malah akan meningkatkan kebarangkalian bagi pengguna mesin untuk mengalami kecederaan.

Menurut Rizal et al. (2013), apabila kadar haus pada mata alat meningkat, penghasilan daya pemotongan semasa operasi pemesinan dijalankan turut akan meningkat. Oleh yang demikian, pemilihan daya pemotongan sebagai rujukan utama dalam pengukuran secara tidak langsung dan pemantauan tahap haus mata alat adalah sangat bersesuaian. Menurut kajian yang dijalankan oleh Ghani et al. (2010), terdapat dua kaedah yang boleh digunakan bagi tujuan pemantauan haus mata alat, iaitu kaedah secara langsung dan tidak langsung. Bagi kaedah secara langsung, ia mengaplikasikan pendekatan secara penglihatan dan optik, yang mana mengukur parameter geometri bagi mata

alat tersebut. Berbeza pula dengan kaedah secara tidak langsung, yang mana ia dicapai dengan cara mengaitkan atau menyimpulkan isyarat penderia yang sesuai dengan keadaan haus mata alat. Melalui kaedah ini, status keadaan bagi mata alat tidak direkodkan secara langsung, akan tetapi dianggarkan daripada ciri isyarat yang boleh diukur. Kaedah ini meliputi proses penderiaan terhadap daya pemotongan, getaran, pelepasan akustik, dan arus motor (Ghani et al. 2011). Ramai penyelidik mengaplikasi kaedah kepintaran tiruan (AI) bagi tujuan ramalan hayat mata alat, antaranya Salah et al. (2014) yang telah membangunkan ramalan untuk mata alat menggunakan sistem pembelajaran hybrid untuk proses kisar hujung aloi Titanium Ti6Al4V. Franci Čuš and Uroš Župerl (2011) telah membangunkan sistem pemantauan yang boleh mengesan kepatahan mata alat dengan kaedah kombinasi di antara membuat keputusan neural dan ANFIS dalam proses kisar. Kumar et al. (2019), mendapati kaedah rangkaian neural perambatan belakang dengan model seni bina rangkaian 3-8-1 adalah lebih sesuai untuk meramalkan tindak balas output yang diukur berbanding dengan rangkaian saraf berulang Elman dan model regresi dalam meramalkan hayat mata alat semasa pemesinan larik S45C. Labidi et al. (2018) mengaplikasikan kaedah ANN dan RSM bagi meramal respon, dan mendapati kaedah ANN menghasilkan keputusan yang lebih tepat berbanding RSM semasa proses larik keras keluli X210Cr12 menggunakan mata alat seramik CC6050.

Menurut penyelidikan yang dijalankan oleh Rizal et al. (2014), pembangunan kaedah I-kazTM adalah

berdasarkan konsep serakan data bagi pusat data dan mengklasifikasikan paparan tersebut mengikut statistik inferensi. Kaedah I-kazTM ini digunakan untuk menunjukkan corak bagi data, yang mana menyumbang kepada faktor rawak dan sekaligus menghasilkan kaitan daripada populasi yang lebih besar. Kaitan atau hubungan yang terhasil ini adalah sangat bermanfaat khususnya dalam proses menganggar dan meramalkan kajian untuk masa hadapan. Bagi tujuan tersebut, pangkalan data yang mengaitkan di antara daya pemotongan dan haus rusuk mata alat akan dibina dalam kajian ini untuk pemantauan keadaan mata alat semasa proses pemesinan dijalankan bagi keluli karbon S45C menggunakan mata alat karbida.

## METODOLOGI KAJIAN

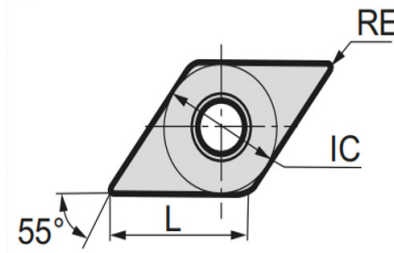
Bahan kerja keluli karbon S45C akan dilakukan proses larik menggunakan mesin CNC Colchester Master Tornado T4 yang mempunyai laju penggumpar maksimum 6000 RPM dengan diameter 60 mm x panjang 150 mm. Proses larik dilakukan dalam keadaan kering tanpa bendalir pemotong menggunakan mata alat karbida tanpa salut. Jadual 1 dan 2 masing-masing menunjukkan komposisi kimia bahan S45C, dan perincian mata alat ISO DNMG150608N-SE yang digunakan. Rajah 1 menunjukkan rajah skematik mata alat yang digunakan. Rajah 2 menunjukkan pemasangan dynamometer, bahan S45C, dan mata alat di mesin larik bagi mengambil data daya pemotongan semasa pemesinan dilakukan.

JADUAL 1. Peratus (%) komposisi kimia keluli karbon S45C (Ghani et al. 2017)

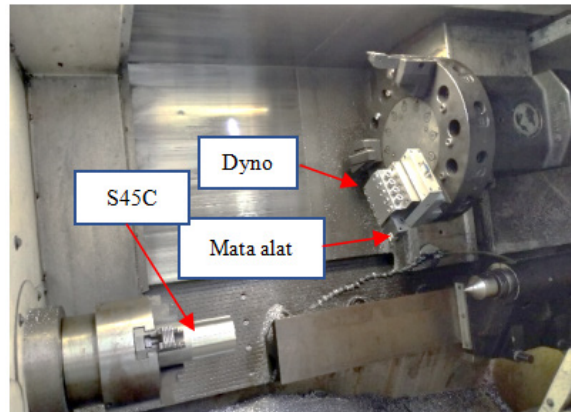
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ni+Cr
0.42-0.48	0.15-0.35	0.60-0.90	≤0.030	≤0.035	≤0.30	≤0.20	≤0.20	≤0.35

JADUAL 2. Perincian mata alat karbida (Hochleistungs-Zerspanungswerkzeuge et al. 2020)

Geometri Sisipan	Rombus (55°)
Sudut jejari hidung (RE)	0.8 mm
Panjang bucu pemotongan (L)	15.5 mm
Arah suapan	Neutral
Aplikasi	Kemasan



RAJAH 1. Skematik geometri mata alat (Hochleistungs-Zerspanungswerkzeuge et al. 2020)



RAJAH 2. Pemasangan dynamometer, mata alat, dan bahan S45C di mesin

Bagi tujuan pembangunan pangkalan data untuk tujuan pemantauan, hanya satu set parameter pemotongan

dilakukan seperti ditunjukkan dalam Jadual 3. Pemesinan dilakukan dalam keadaan kering tanpa bendalir pemotongan.

JADUAL 3. Parameter pemotongan larik yang digunakan bagi pembangunan pangkalan data

Laju pemotongan, V (m/min)	200
Kadar suapan, f (mm/putaran)	0.2
Dalam pemotongan, d (mm)	0.25

Proses pemesinan dihentikan setiap 20 saat, untuk diukur lebar haus rusuk (VB), dan kemas permukaan. Haus rusuk diukur menggunakan mikroskop berskala jenis Mitutoyo model *toolmaker' microscope*, dan kekasaran permukaan diukur menggunakan pengukur kekasaran permukaan Mitutoyo model SJ310. Nilai purata kekasaran (Ra) diambil pada tiga lokasi yang berbeza di atas permukaan yang dimesin pada awal pemesinan dijalankan. Bagi setiap larian, daya pemotongan diukur secara atas talian menggunakan sistem Neo-MoMac yang terdiri daripada dinamometer, kad pemerolehan data, dan perisian mesra pengguna yang memaparkan data daya pemotongan di skrin komputer. Sistem ini dibangunkan oleh penyelidik UKM. Proses pengukuran haus rusuk mata alat dilakukan sehingga haus rusuk, VB mencapai 0.3 mm mengikut piawai ISO: 3685,1993.

Persamaan (1) digunakan bagi tujuan peramalan dengan menukar pembolehubah y dan x kepada  $Z_2$  dan  $V_B$ ,

yang mana kemudiannya ditulis dalam bentuk persamaan (2) (Ghani et al. 2011):

$$y = ax^n \tag{1}$$

$$V_b = \left(\frac{Z_2}{a}\right)^{\frac{1}{n}} \tag{2}$$

$Z_2$  merupakan pekali bagi I-kaz 2D yang diperolehi daripada data-data yang direkodkan. Manakala bagi pemalar a dan n pula, ia bersifat tetap sesuai dengan keadaan pemilihan parameter pemesinan.

#### KEPUTUSAN EKSPERIMEN

Maklumat dalam Jadual 4 menunjukkan kekasaran permukaan meningkat dengan haus rusuk mata alat. Perkara yang sama juga untuk daya pemotongan. Oleh itu

maklumat daya pemotongan yang diperolehi dapat digunakan bagi tujuan pemantauan keadaan mata alat semasa proses pemesanan dijalankan. Kajian Rizal et al.

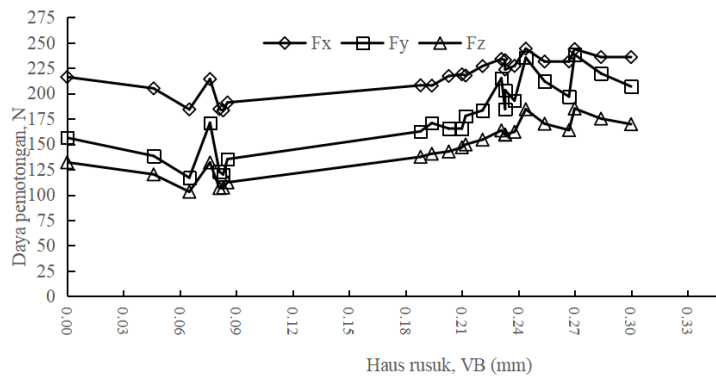
(2017) mendapati pengesanan yang salah adalah sekitar 11% semasa membuat ramalan pemesanan keluli P20 menggunakan sistem Mahalanobis Taguchi (MTS).

JADUAL 4. Keputusan masa pemotongan, haus rusuk, kekasaran permukaan dan daya pemotongan

Larian	Masa pemesanan (min)	Haus Rusuk (mm)	Purata Kekasaran Permukaan ( $\mu\text{m}$ )	Daya Pemotongan (N)		
				$F_x$	$F_y$	$F_z$
1	0.28	0.000	0.000	216.150	156.257	132.047
2	5.67	0.046	1.275	204.949	138.360	120.163
3	11.33	0.065	2.150	184.193	116.813	103.011
4	17.00	0.076	1.796	214.156	171.025	131.853
5	22.67	0.081	2.122	184.523	122.812	106.631
6	28.33	0.083	2.504	183.184	120.044	107.094
7	39.67	0.085	2.077	191.052	135.192	112.280
8	51.00	0.188	2.835	207.968	162.537	137.446
9	53.83	0.194	2.303	207.609	170.775	140.537
10	56.67	0.203	2.505	217.145	165.352	142.683
11	59.50	0.210	2.575	218.767	165.427	146.845
12	62.33	0.212	2.746	217.603	177.785	149.667
13	68.00	0.221	1.336	226.878	183.256	154.385
14	73.67	0.231	1.706	233.895	214.872	163.497
15	77.35	0.233	1.716	232.749	184.484	159.386
16	79.33	0.233	2.174	223.505	203.183	159.370
17	85.00	0.238	2.091	227.101	192.812	162.099
18	90.67	0.244	1.619	244.120	235.198	184.405
19	96.33	0.254	2.060	231.413	211.930	170.085
20	102.00	0.267	2.367	231.499	196.841	163.829
21	107.67	0.270	2.364	243.701	238.263	185.092
22	113.33	0.284	2.659	235.831	219.675	175.123
23	119.00	0.300	2.941	235.767	206.830	169.638

Rajah 3 menunjukkan kaitan di antara daya pemotongan dengan haus mata alat. Didapati, semua daya pemotongan dalam arah  $F_x$ ,  $F_y$ , dan  $F_z$ , agak besar di permulaan pemotongan, sedikit berkurang, dan meningkat semula di kawasan mantap haus mata alat sehingga VB mencapai 0.3 mm. Penurunan daya pemotongan yang berlaku ini

dipercayai disebabkan oleh serpihan yang melengkap di sekitar bahan kerja dan mata alat seperti ditunjukkan dalam Rajah 4 yang menyebabkan daya yang diukur berkurangan kerana pinggir mata alat terganggu dengan kehadiran serpihan tersebut.



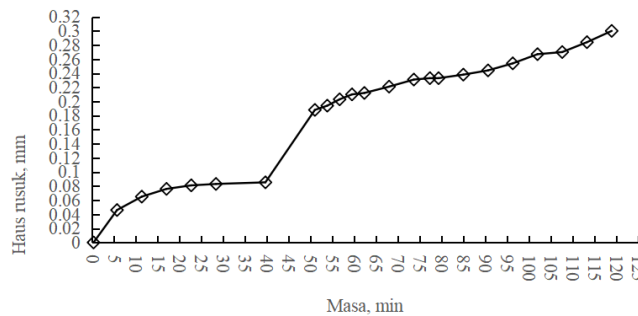
RAJAH 3. Perhubungan di antara haus rusuk dan daya pemotongan yang diukur



RAJAH 4. Serpihan yang melingkar di sekitar bahan kerja dan mata alat semasa pemesinan dalam keadaan kering S45C

Rajah 5 Menunjukkan perhubungan di antara haus rusuk dan masa pemotongan sehingga  $VB=0.3$  mm. Didapati haus rusuk meningkat secara beransur-ansur, dan

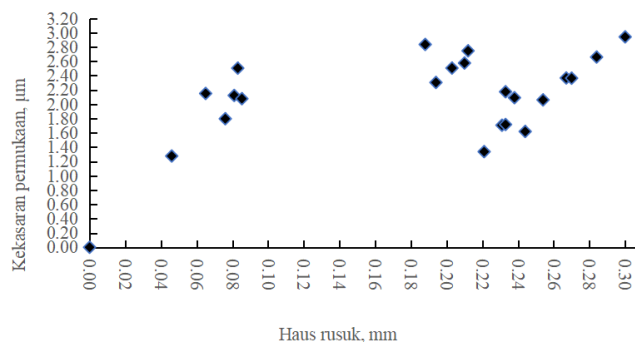
tren ini adalah sesuai bagi tujuan pemantauan kerana kegagalan mata alat bukan disebabkan oleh patah atau kegagalan malapetaka.



RAJAH 5. Haus rusuk melawan masa pemotongan

Rajah 6 menunjukkan perhubungan di antara kekasaran permukaan dengan haus rusuk. Didapati kekasaran permukaan adalah di antara  $1.2-3 \mu\text{m}$  dari awal pemotongan hingga akhir hayat mata alat. Oleh itu walaupun telah mencapai  $VB = 0.3$  mm, sekiranya kemasan permukaan bukan menjadi isu bagi komponen tersebut, pemesinan menggunakan mata alat tersebut masih boleh lagi diteruskan. Yap et al. (2011) mendapati pemesinan keluli JIS S45C dalam keadaan kering menghasilkan kualiti permukaan yang lebih baik berbanding pemesinan dalam keadaan basah dan kriogenik. Namun, ulasan yang dilakukan oleh Araoyinbo (2022) mendapati penggunaan

bandalir pemotong akan mengurangkan kekasaran permukaan, mempercepat pengaliran keluar bahan, dan mengurangkan bahan yang terbuang serta memperbaiki keutuhan permukaan. Kajian yang dilakukan oleh Sumardiyanto (2018) mendapati faktor yang memberi kesan terhadap kemasan permukaan semasa memesis S45C adalah laju penggumbar diikuti dengan kadar suapan, dan dalam pemotongan. Menurut Tiwari et. al (2018), pemesinan keluli S45C menggunakan mata alat bersalut TiN, mendapati fenomena penyerpihan berlaku di hidung mata alat disebabkan oleh suhu yang tinggi dan tegasan yang berlaku di pinggir mata alat.

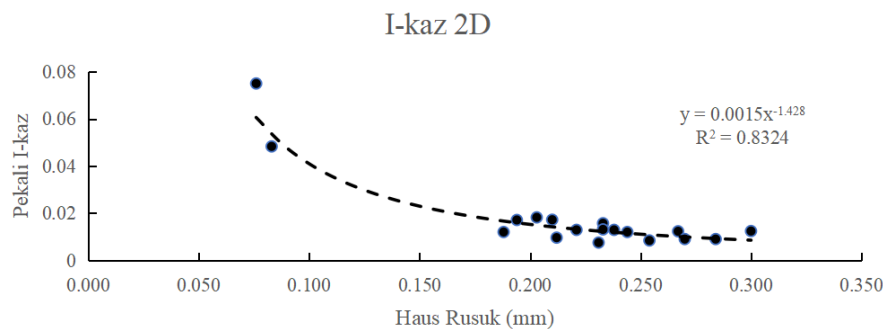


RAJAH 6. Kekasaran permukaan vs. haus rusuk

## PEMBANGUNAN PANGKALAN DATA PEMONITORAN MATA ALAT

Pekali I-Kaz 2D dibangunkan dengan mengaitkan data-data daya pemotongan dan haus rusuk yang diukur. Rajah 7 menunjukkan pekali I-kaz 2D yang dikira bagi haus rusuk mata alat bagi ujikaji tersebut. Didapati pekali I-kaz 2D berkurangan dengan peningkatan haus rusuk. Bagi tujuan ini, persamaan (1) dan (2) telah digunakan dan persamaan (3) dihasilkan.

$$y = 0.0015x^{-1.428} \quad (3)$$



RAJAH 7. Hubungan antara pekali I-Kaz 2D dan haus rusuk

## KESIMPULAN

Pangkalan data yang mengaitkan perhubungan di antara daya pemotongan dan haus rusuk bagi proses pemesinan larik S45C yang diamalkan di industri telah berjaya dibangunkan. Penubuhan pangkalan data tersebut dipercayai dapat membantu dalam meningkatkan prestasi dan kecekapan proses pemesinan pada masa hadapan. Selain itu, pangkalan data yang dibina ini juga dipercayai mampu membantu dalam mengurangkan kos-kos yang terlibat dalam proses pembuatan sekiranya diaplikasikan di industri pembuatan terbabit.

## PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan kepada Kerajaan Malaysia bagi geran penyelidikan PRGS/2/2020/TK03/UKM/01/1.

Pekali korelasi regresi  $R^2 = 0.8324$  diperolehi untuk persamaan (3). Nilai  $a = 0.0015$ , dan  $N = -1.428$ , kemudiannya menjadi input di perisian Neo-MoMac bagi tujuan pemantauan perkembangan haus mata alat semasa proses pemesinan S45C bagi parameter pemesinan dengan laju pemotongan,  $V = 200$  m/min, kadar suapan,  $f = 0.2$  mm/putaran, dan dalam pemotongan,  $d = 0.25$  mm. Persamaan regresi (3) adalah formula utama yang digunakan untuk ramalan keadaan mata alat. Kaedah ramalan menggunakan pangkalan data, akan memberikan ramalan yang baik iaitu dalam kajian ini melebihi 80%. Kajian yang hampir sama dijalankan oleh Rizal et al. (2011), mendapati ramalan melebihi 98% semasa proses larik bahan FCD700 pada laju pemotongan antara 180-270 m/min, kadar suapan 0.15-0.25 mm/putaran, dan dalam pemotongan di antara 0.5-1.5 mm.

## PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada  
RUJUKAN

- Al-Zubaidi, S., Ghani, J. A. & Che Haron, C. H. 2014. Prediction of tool life when end milling of Ti6Al4V alloy using hybrid learning system. *Arabian Journal for Science and Engineering* 39(6): 5095–5111. doi:10.1007/s13369-014-0975-0.
- Franci Čuš, and Uroš Župerl. 2011. Real-time cutting tool condition monitoring in milling. *Journal of Mechanical Engineering* 57(2): 142-150.
- Ghani, J. A., Rizal, M., Nuawi, M. Z., Ghazali, M. J. & Haron, C. H. C. 2011. Monitoring online cutting tool wear using low-cost technique and user-friendly GUI. *Wear* 271(9–10): 2619–2624. doi: 10.1016/j.wear.2011.01.038.
- Ghani, Jaharah A., Rizal, M., Nuawi, M. Z., Haron, C. H. C., Ghazali, M. J. & Ab Rahman, M. N. 2010. Online cutting tool wear monitoring using I-kaz method and new regression model. *Advanced Materials Research* 126–128: 738–743.

- Hochleistungs-Zerspanungswerkzeuge, G., Katalog, S. & Ogólny, K. 2020. Performance Of Cutting Tools.
- Junaidi. 2019. Analysis Of S45C Material Mechanical Stength Using Speed Carbide. Indonesia.
- Kalpakjian, S., Schmid, S. R. & Sekar, K. S. V. 2013a. Manufacturing engineering and technology. (K. S. Vijay Sekar, Ed.), hlm. 7th Edisi . United Kingdom: Pearson Education Limited.
- Kumar, R., Modi, A., Panda, A., Sahoo, A. K., Deep, A., Behra, P. K., & Tiwari, R. 2019. Hard turning on JIS S45C structural steel: An experimental, modelling and optimisation approach. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering* 16(4): 7315–7340.
- Araoyinboa, Alaba Oladeji, Mosunmola Bose Edun, Ayuba Ushe Samuel, Azmi Rahmat, Matthew Biola Biodun & Mohammed Mustafa Albakri. 2022. Influence of cutting fluid on machining processes: A review. *Jurnal Kejuruteraan* 34(3): 365-373
- Labidi, A., Tebassi, H., Belhadi, S., Khettabi, R., Yaltese, M.A. 2018. Cutting conditions modelling and optimisation in hard turning using RSM, ANN and desirability function. *Journal of Failure Analysis and Prevention* 18(4): 1017-1033.
- Mughal, Khurram Hameed, Muhammad Asif Mahmood Qureshi, Nasir Hayat, Zia ul Rehman Tahir, Fazal Ahmad Khalid, Asif Ali Qaiser & Jianfu Zhang. 2023. Dynamic Performance Evaluation of Ultrasonic Composite Horn for Machining Soft and Brittle Composites. *Jurnal Kejuruteraan* 35(1):169-178
- Othman, K., Ghani, J.A., Juri, A.Z., & Haron, C.H. 2018. Kajian mikrostruktur aloi aluminium A390 selepas pemesanan kasar. *Jurnal Kejuruteraan* 30(2): 257-264.
- Rizal, M., Ghani, J. A., Nuawi, M. Z. & Haron, C. H. C. 2017. Cutting tool wear classification and detection using multi-sensor signals and Mahalanobis-Taguchi System. *Wear* 376–377: 1759–1765. doi:10.1016/j.wear.2017.02.017.
- Rizal, Muhammad, Ghani, J. A., Nuawi, M. Z. & Haron, C. H. C. 2013. The application of I-kazTM-based method for tool wear monitoring using cutting force signal. *Procedia Engineering* 68: 461–468. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.proeng.2013.12.207.
- Rizal, Muhammad, Ghani, J. A., Nuawi, Z., Amir, M., Mohd Tahir, S., Hassan, C. & Haron, C. 2014. A comparative study of I-kaz Based signal analysis techniques: Application to detect tool wear during turning process. *Jurnal Teknologi* 66.
- Singh, R. 2016. Classification of steels. *Applied Welding Engineering*, hlm. 57–64. Elsevier. doi:10.1016/b978-0-12-804176-5.00006-2.
- Sumardiyanto, Didit, Sri Endah Susilowati, Anton Cahyo. 2018. Effect of cutting parameter on surface roughness carbon steel S45C. *Journal of Mechanical Engineering and Automation* 8(1): 1-6. doi:10.5923/j.jmea.20180801.01
- Tiwari, R., Das, D.K., Sahoo, A.K., Kumar, R., Das, R.K., Routara, B.C. 2018. Experimental investigation on surface roughness and tool wear in hard turning JIS S45C steel. *Materials Today: Proceedings* 2018; vol 5: 24535–24540
- Talib, N. A. 2010. Studying The Effect Of Cutting Speed And Feed Rate On Tool Life In The Turning Processes 181–194.
- Yap, T.C., Lim, C.S., Leau, J.W. 2011. Surface roughness and cutting forces in cryogenic turning of carbon steel. *International Journal of Engineering Science and Technology* 7(10): 911-920
- Yusoff, Y., Ngadiman, M. S. & Zain, A. M. 2011. Overview of NSGA-II for optimizing machining process parameters. *Procedia Engineering* 15: 3978–3983. doi:10.1016/j.proeng.2011.08.745.
- ISO (International Organization for Standardization) (Ed.), Tool-life Testing with Single-Point Turning Tools (ISO 3685). 2<sup>nd</sup> edition. Reference Number ISO 3685: (1993)(E).