

ANALISIS KEKASARAN PERMUKAAN TERMESIN DARI BAHAN BAJA AISI 4340 SETELAH DIBUBUT PADA PEMESINAN HIJAU

Suhardi Napid

Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik UISU
suhardi@ft.uisu.ac.id

Abstrak

Hingga kini untuk pemotongan logam dalam membuat komponen mesin masih menggunakan pemesinan basah dan pemesinan kering. Walaupun para pakar pemesinan telah merekomendasikan pemesinan kering setelah mengetahui dampak dari pemesinan basah, namun pemesinan basah oleh industri manufaktur masih menggunakannya. Tujuan penelitian adalah menganalisis kekasaran permukaan hasil pemesinan yang diperoleh melalui pemesinan basah dan kering guna memberikan pertimbangan kemungkinan pemesinan kering dapat diwujudkan pada pemesinan baja AISI 4340. Kekasaran permukaan termesin dilakukan dengan beberapa pengujian. Pengolahan dan analisa data dapat dilakukan secara statistik. Sampel baja AISI 4340 dihasilkan dari operasi pembubutan basah dengan 9 bentuk pemotongan melalui kecepatan potong (V) 150 m/min, 225 m/min, 300 m/min; pemakanan (f) 0,15 mm/r, 0,2 mm/r, 0,25 mm/r dan kedalaman potong (a) 1 mm, 1,5 mm, 2 mm; Geometri pahat (Gp) 6, 12, 18 derajat. Dalam hal ini 3 variasi ditentukan oleh keausan tepi (VB) = 0,1 mm, 0,3 mm dan 0,6 mm demikian juga terhadap pemesinan kering. Pada pengujian kekasaran diperoleh nilai kekasaran dengan pemesinan kering untuk kondisi pemotongan optimum yaitu $HPK1,0.1 = 1,565 \mu\text{m}$, $HPK6,0.3 = 2,524 \mu\text{m}$ dan $HPK8,0.6 = 2,902 \mu\text{m}$ manakala nilai pada pemesinan basah didapati $HPB1,0.1 = 1,682 \mu\text{m}$, $HPB6,0.3 = 2,602 \mu\text{m}$ dan $HPB8,0.6 = 3,006 \mu\text{m}$. Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa pemesinan hijau memberikan nilai kekasaran yang lebih kecil dibandingkan pemesinan basah dan perbedaan yang signifikan tak diperoleh apabila dianalisa secara statistik ataupun dilihat dari grafik saling berimpit pada gambar 5 dan 6, sehingga pemesinan kering merupakan suatu peluang baik yang dapat diwujudkan dalam industri manufaktur dan otomotif.

Kata-Kata Kunci : AISI 4340, Pemesinan Hijau, Kekasaran Permukaan

I. PENDAHULUAN

Pada era global ini, banyak sekali isu mengenai energi bermunculan, mulai dari sumber energi baru, terobosan energi alternatif, sampai pengembangan media penyimpanan energi. Media penyimpan energi yang dipakai pada alat elektronik sehari-hari adalah baterai dan kapasitor. Selama ini baterai memang dianggap efektif untuk menjadi sumber daya bagi alat yang membutuhkan voltase rendah. Namun, terdapat kelemahan jika sering dipakai maka baterai akan mengalami *voltage drop*. Adanya super kapasitor yang dipasang pada baterai akan meningkatkan performa dan umur pakai baterai (Rahman Faiz Suwandana, 2015). Salah satu material yang banyak dikembangkan saat ini adalah *graphene*. *Graphene* adalah salah satu keluarga unsur karbon, yang A. K. Geim dan K. S. Novoselov pada tahun 2004. *graphene* menjadi kenyataan dan menyebabkan Geim dan Novoselov dianugerahi Hadiah Nobel pada tahun 2010 (Geim AK, 2011). Dalam teknik ini, sepotong grafit mengalami pengelupasan pita berulang dan kemudian dipindahkan ke substrat. Jumlah lapisan kemudian dapat dievaluasi dengan metode yang berbeda dengan menggunakan mikroskop optik sederhana, spektroskopi Raman, mikroskop kekuatan atom dan / atau pemindaian mikroskop tunneling Metode preparasi ini masih membuat kristal kualitas tertinggi, namun hanya berguna untuk lab scale percobaan dan prototyping karena tidak mungkin untuk meningkatkan proses (K. S. Novoselov,

2004). Penelitian ini membahas mengenai *graphene superkapasitor* dengan pengaruhnya terhadap lama pengisian charging, serta kapasitansi listrik material *graphene*, dan lama waktu daya yang terbuang.

Dalam proses bubut, kekasaran permukaan merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas permukaan hasil pemesinan untuk mengkaji surface integrity. Variabel yang paling umum diubah dalam proses bubut adalah parameter set up mesin. Kecepatan potong, laju pemakanan dan kedalaman potong dikenal dengan parameter pemotongan. Saat ini pemesinan basah di industri masih digunakan untuk memotong logam baja (Liem, 2004). Sivarajan (2014) melaporkan cairan pemotong dan pelumas dalam industri pemotongan logam kontribusi biaya produksi mencapai (16-20) persen tetapi pada pemesinan basah bukan saja hanya masalah biaya namun memberikan dampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan.

Dalam hal kesehatan, operator biasanya terkena pengaruh sesak nafas dan gatal-gatal pada kulit. Sedangkan efek lingkungan terjadi melalui polusi air, kontaminasi tanah selama pembuangan. Untuk mengatasi masalah cairan pemotongan ini, akhirnya para pakar pemesinan merekomendasikan pemesinan hijau (SME, 2000). Che Haroen dan Ginting (2000) melaporkan bahwa kecenderungan pemesinan kering lebih baik dari pemesinan basah untuk membubut baja perkakas dengan menggunakan pahat karbida berlapis.

Dari paparan di atas dipandang perlu untuk menganalisis kekasaran permukaan hasil pemesinan

dari bahan baja paduan AISI 4340 sebagai bahan untuk memfabrikasi komponen mesin.

1.1 Perumusan Masalah

Keutuhan permukaan dipengaruhi oleh kedalaman potong, pemakanan, radius pojok dan cairan pemotongan (Downson dan Kurfess, 2004). Cairan pemotongan yang digunakan pada proses pemesinan dapat mengurangi gesekan antara pahat dan benda kerja sekaligus mereduksi suhu pemotongan dengan konsekuensi memperpanjang umur pahat sehingga diperoleh kemas permukaan yang baik. Pemesinan kering dapat dikategorikan sebagai pemesinan hijau dari aspek polusi terhadap lingkungan (Benyamin B, 2012).

Rochim Taufiq (1993) melaporkan bahwa cairan pemotongan akan berfungsi baik jika cairan diarahkan dan dijaga alirannya pada daerah pembentukan geram. Pemakaian cairan pemotongan yang tidak berkesinambungan, maka bidang aktif pahat akan mengalami beban termal yang berfluktuasi. Penggunaan pahat yang relatif getas, maka pemuaian dan pengerutan berulang kali akan menimbulkan retak mikro dimana akhirnya justru menjadikan penyebab kerusakan fatal. Tanpa penggunaan cairan pemotongan pada pemotongan kering akan menyebabkan suhu pemotongan tinggi dan gaya gesekan yang lebih besar terjadi pada kawasan pemotongan sebab suhu dan gesekan akan berakibat gangguan pada umur pahat dan kehalusan permukaan. Canter (2003) melaporkan bahwa tanpa cairan pemotong, keausan pahat yang berlebihan dan kemas permukaan yang lebu buruk selama pemesinan maka kedua faktor ini akan meningkatkan biaya fabrikasi dan mereduksi produktifitas. Jika pemesinan kering diimplementasikan pada baja paduan gi, masalah yang mungkin dihadapi adalah :

1. Baja AISI 4340 tinggi merupakan bahan liat (*ductile*), absennya cairan pemotongan akan menyebabkan gesekan dan panas yang tinggi.
2. Penurunan kecepatan pemotongan dan melekatnya geram pada permukaan akan diperoleh geram kontinu dengan properties benda kerja yang liat.
3. Aplikasi pemesinan kering akan menyebabkan kekerasan permukaan hasil pemesinan menjadi lebih tinggi dibandingkan pemesinan basah.

Pemesinan kering berhasil dilakukan pada pemesinan dari beberapa bahan logam seperti besi tuang, baja karbon, paduan titanium (Kloche & Eisenblatter 1977; Sreejith & Ngoi 2000; Graham 2000; Haron 2001).

Semakin halus permukaan hasil pemesinan maka sifat mekaniknya lebih baik. Penggunaan cairan pemotong pada proses pemesinan dengan bahan baja paduan memberikan sejumlah masalah yaitu biaya produksi, keselamatan dan kesehatan pekerja serta dampak lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu diubah metode pemesinan dari pemesinan basah ke metode pemesinan kering,

sehingga dapat mengurangi biaya produksi dan terhindar dari polusi lingkungan.

1.2 Tujuan Penelitian

Untuk menganalisa kekasaran permukaan hasil pemesinan yang diperoleh melalui metode pemesinan basah dan pemesinan kering guna memberikan pertimbangan kemungkinan pemesinan kering dapat diwujudkan pada pemesinan baja paduan AISI 4340

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kekasaran Permukaan

Persamaan standar untuk pemodelan kekasaran permukaan adalah :

$$R_a = \frac{f^2}{32 r_c} \quad (\text{Vernon, 2003}) \dots\dots (1)$$

2.2 Persamaan Statistik

H₀: Tidak ada perubahan R_{avg} antara pemesinan kering dan basah

H₁: Ada perbedaan R_{avg} antara pemesinan kering dan basah

$$S_{d1} = \sqrt{\frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$S^2_P = \frac{(n_1-1) \cdot S_{d1}^2 + (n_2-1) \cdot S_{d2}^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (3)$$

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_P \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (4)$$

Ronald E. Walpole (1993)

2.3 Baja AISI 4340

Baja liat dan baja agak keras banyak dipilih untuk poros. Baja paduan untuk poros terdiri dari baja khrom nikel, baja khrom nikel molibden, baja khrom dan baja khrom molibden. Adapun jenis baja paduan yang digunakan adalah baja khrom nikel molibden dengan standar AISI 4340. Poros yang dipakai untuk putaran tinggi dan beban berat biasanya dibuat dari baja paduan dengan pengerasan kulit yang sangat tahan terhadap keausan (Sularso dan Suga, 1997). Beberapa unsur paduan lain yang ditambahkan untuk meningkatkan sifat yang khas adalah molibdenum, nikel, silikon, mangan, fosfor, belerang. Kondisi standar benda kerja dengan perbandingan panjang dan diameter lebih dari 10 tidak direkomendasikan (ISO, 3685).

2.4 Pemesinan Basah dan Kering

Proses pemesinan dengan menggunakan cairan pemotongan dapat memperpanjang umur pahat, menurunkan gaya potong, menghaluskan permukaan hasil pemesinan, menurunkan suhu

pemotongan dan melindungi benda kerja dan komponen mesin dari korosi (Rochim ,T, 1993).

Prestasi dan biaya operasi pemesinan kering telah didokumentasikan dengan menggunakan pencegahan polusi lingkungan. Informasi ini akan berguna bagi perusahaan untuk mempertimbangkan pemesinan kering dari penggunaan cairan pemotong. Fungsi utama cairan pemotong adalah pembersihan geram dari area pemesinan seperti halnya pengangkutan energi yang berkenaan dengan panas.

Bagaimanapun cairan pemotong juga memberikan masalah untuk kesehatan kerja, pembuangan biaya dan perawatan mesin. Pemesinan kering meniadakan kebutuhan cairan pemotong. Pemesinan kering telah mencapai langkah-langkah

tersebut yang mana terbukti bekerja dengan kondisi yang diberikan efektif .

hanya untuk kecepatan potong tinggi, pemakanan rendah dan mereduksi kedalaman potong. Pabrik mobil kini memanfaatkan pemesinan kering. Sreejeith dan Ngoi (2000) melaporkan bahwa pemesinan kering dikategorikan sebagai pemesinan hijau (green machining) jika ditinjau dari sisi pencemaran terhadap lingkungan.

Keuntungan biaya dari pemesinan hijau meliputi tanpa pendingin, tanpa pompa pendingin, tak ada pembelian filter dan tak ada penjualan pembersih geram (Bulloch, 2004).

III. METODE PENELITIAN

Bahan

Tabel 1. Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik Pahat Karbida Banyak Lapisan

CO (%)	Karbida komposit (%)	Kekerasan (HV)	Ketangguhan (Mpa)	Spesifikasi lapisan
11.5	13	1425	7,9	TiN+Ti(C,N)

Sumber : Tool and inserts for turning ,Ceratizit 2004

Material yang digunakan AISI 4340 yang merupakan baja paduan dengan komposisi kimia dan sifat mekanik sebagai berikut :

Tabel 2. Komposisi Kimia dari Material Benda Kerja (dalam %)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
0,37	0,21	0,69	0,028	0,010	1,70	0,25	1,58	0.09	0.027

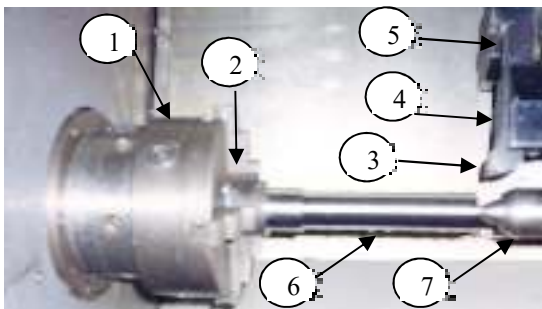
Sumber : PT. Suminsurya Mesindo Lestari

Tabel 3. Sifat Mekanik Benda Kerja

Kekuatan luluh (N/mm ² min)	Kekuatan tarik (N/mm ²)	Elongasi (%)	Reduksi (%)	kekuatan impak (Joule)	KekerasanH V
875	1288	11,5	47	48	300-360

Sumber : PT. Suminsurya Mesindo Lestari

Alat



Gambar 1. Benda Kerja Terpasang Mesin Bubut CNC



Gambar 2. Surface Test

Pembubutan baja paduan AISI 4340 yang berbentuk batang silinder (panjang = 200 mm dan diameter 50 mm) dilakukan dengan menggunakan mesin CNC terhadap standar array $L_9 (3)^4$. Berdasarkan standar tersebut dapat dilakukan pengujian yang mana diberikan variasi keausan VB, variasi kondisi pemotongan dan geometri pahat berbeda seperti (tabel 4). Hasil pemesinan bubut memiliki 9 bentuk pemotongan berbeda ketika dilakukan pada pemesinan basah begitu juga terhadap pemesinan kering.

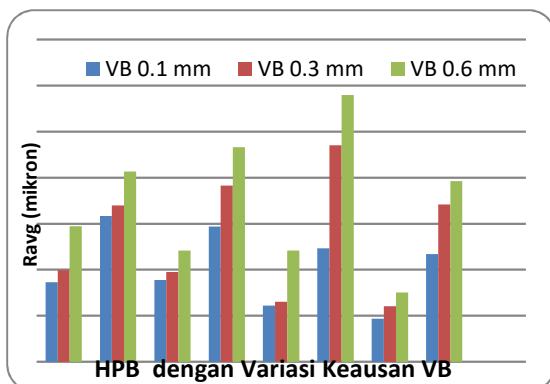
Dengan 3 variasi keausan VB yaitu 0,1 mm, 0,3 mm dan 0,6 mm dari 9 bentuk pemotongan, dipilih satu bentuk pemotongan optimum sehingga diperoleh 3 bentuk pemotongan optimum masing-masing untuk pemesinan basah dan kering. Dengan demikian dapat dibanding hasil pemesinan basah dan kering. Pengukuran kekasaran permukaan hasil pemesinan digunakan alat surface test.

Tabel 4. Rencana Pengujian untuk Variasi VB = 0,1 mm; 0,3 mm dan VB = 0,6 mm dengan pemesinan basah dan kering.

Jlh Eksp	V	a	F	Gp
	m/min	mm	mm/r	($^{\circ}$)
HPB1; HPK1	150	1,0	0,15	6
HPB2; HPK2	150	1,5	0,2	12
HPB3; HPK3	150	2,0	0,25	18
HPB4; HPK4	225	1,0	0,2	18
HPB5; HPK5	225	1,5	0,25	6
HPB6; HPK6	225	2,0	0,15	12
HPB7; HPK7	300	1,0	0,25	12
HPB8; HPK8	300	1,5	0,15	18
HPB9; HPK9	300	2,0	0,2	6

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

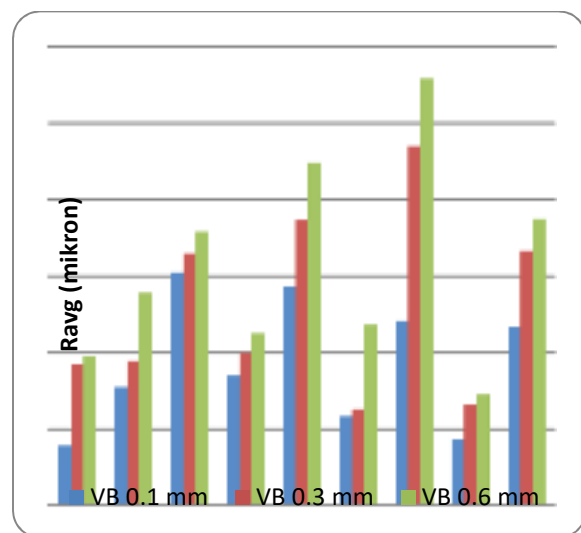
Perolehan data pemesinan basah dan kering melalui suatu pengujian dengan alat ukur surface test dapat di plot kedalam bentuk gambar diagram batang berikut ini.



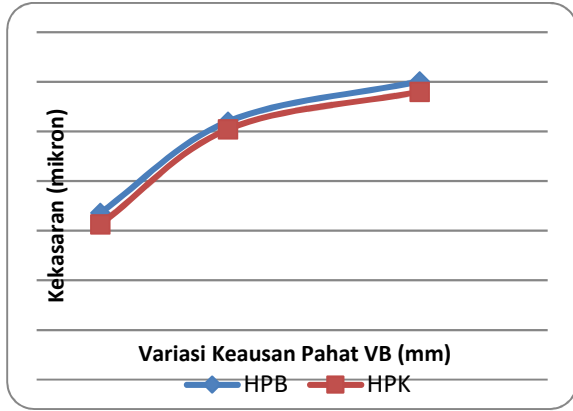
Gambar 3. Kekasaran permukaan dengan variasi keausan VB untuk pemesinan basah

Dari Gambar 4 bahwa perubahan Ra pada keausan VB (0-0,1) mm dengan kedalaman potong yang sama yaitu 1mm, 1,5 mm dan 2 mm merupakan proses keausan awal dalam proses pemesinan yang mana pemakanan f untuk 0,15 mm/r cenderung memberikan nilai kekasaran permukaan Ravg lebih rendah dibandingkan dengan pemakanan 0,2 mm/r dan 0,25 mm/r. Perubahan laju Ravg (Δ Ravg) dari VB (0,1-0,3) mm rata-rata menurun untuk kondisi pemotongan dan geometri pahat (Gp) berbeda. Rata-rata terjadi penurunan disebabkan (Δ Ravg) (0-0,1) mm cenderung lebih besar. Sedangkan laju perubahan Ravg dari VB (0,3-0,6) mm juga rata-rata relatif menurun dikarenakan Δ Ravg keausan VB (0,1-0,3) mm lebih besar dibandingkan pada keausan VB (0,3-0,6) mm. Gambar 5 bentuk diagram batang dari hasil pemesinan kering. Penjelasan Gambar 5 identik dengan Gambar 4, hanya saja nilai kekasaran permukaan Ravg saja yang berbeda yang mana nilai Ravg pada pemesinan kering (dry machining) sedikit lebih rendah (tidak signifikan). Namun demikian waktu pemotongan dan panjang lintasan pemotongan lebih pendek dari pada pemesinan basah (wet machining).

Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6 bahwa keausan pahat VB semakin besar akan dihasilkan suatu permukaan hasil pemesinan yang kurang baik karena nilai Ravg bertambah besar. Perbandingan kedua hasil pemesinan tersebut di atas ternyata pemesinan kering memiliki suatu permukaan termesin lebih baik. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6. Untuk 3 bentuk pemotongan optimum seperti ditunjukkan pada Gambar 7 bahwa pengaruh pemakanan (0,15 mm/r) kelihatannya lebih dominan dibandingkan kecepatan potong karena dengan radius pojok yang konstan dalam proses pemesinan dapat diperoleh suatu permukaan lebih baik bila pemakanan rendah sedangkan kecepatan potong memberi pengaruh lebih kecil, yang jelas dapat mengurangi gaya pemotongan dan mempercepat aus pahat.



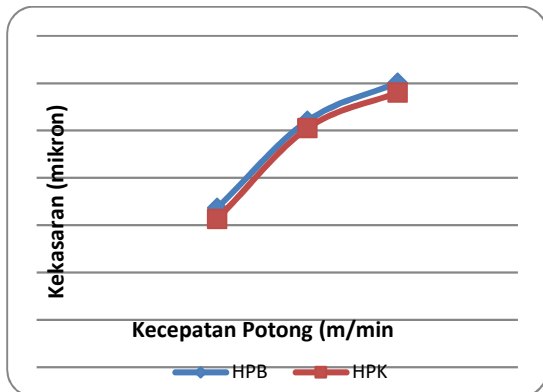
Gambar 4. Kekasaran permukaan dengan variasi keausan VB untuk pemesinan kering



Gambar 5. Hubungan keausan VB dengan kekasaran permukaan untuk pemesinan basah dan kering dgn 3 bentuk pemotongan optimum.

Tabel 5. Hasil Pemesinan Basah dan Kering dengan 3 bentuk pemotongan optimum.

VB mm	FAKTOR				HASIL	
	V	a	f	Gp	HPB	HPK
0,1	150	1	0,15	6	1,682	1,565
0,3	225	2,0	0,15	12	2,602	2,524
0,6	300	1,5	0,15	18	3,006	2,902



Gambar 6. Hubungan kecepatan potong dengan kekasaran permukaan pada pemesinan basah dan kering

Signifikan atau tidak antara pemesinan kering dan basah dapat dilakukan secara statistik.

Statistik Pemesinan Kering dan Basah untuk Kekasaran permukaan R_{avg} .

H_0 : Tidak ada perubahan R_{avg} antara pemesinan kering dan basah

H_1 : Ada perbedaan R_{avg} antara pemesinan kering dan basah

Melalui Tabel 6 data pemesinan kering dan basah diperoleh :

$$\bar{X}_1 = 2.33 \text{ dan } \bar{X}_2 = 2.43$$

Maka nilai :

$$S_{d1} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{n-1}}$$

$$S_{d1} = \sqrt{\frac{(1,565-2,33)^2 + (2,524-2,33)^2 + (2,902-2,33)^2}{3}}$$

$$S_{d1} = \sqrt{\frac{(-0.765)^2 + (0.194)^2 + (0.572)^2}{2}}$$

$$S_{d1} = \sqrt{\frac{(0.585)^2 + (0.037)^2 + (0.327)^2}{2}}$$

$$S_{d1} = 0.688$$

Untuk mendapatkan nilai

$$S_{d2} = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{n-1}}$$

$$S_{d2} = \sqrt{\frac{(1,682 - 2,43)^2 + (2,602 - 2,43)^2 + (3,006 - 2,43)^2}{3 - 1}}$$

$$S_{d2} = \sqrt{\frac{(-0.748)^2 + (0.172)^2 + (0.576)^2}{2}}$$

$$S_{d2} = 0.677$$

$$S^2_P = \frac{(n_1 - 1) \cdot S_{d1}^2 + (n_2 - 1) \cdot S_{d2}^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$S^2_P = \frac{2(0.688)^2 + 2(0.677)^2}{4}$$

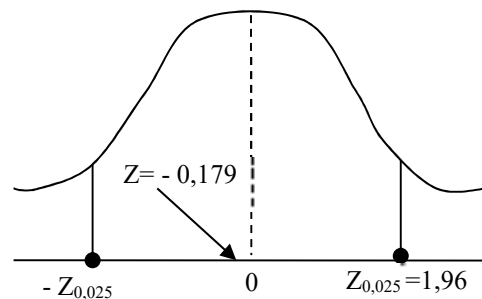
$$S_P = \sqrt{0.46584} = 0.682$$

Statistik uji :

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_P \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$Z = \frac{2.33 - 2.43}{0.682 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}} = \frac{-0.1}{0.682 \cdot 0.8164} = -0.179$$

$\alpha = 0,05$; $Z_{\frac{\alpha}{2}} = Z_{0,025} = 1,96$ yang mana nilai 1,96 diperoleh berdasarkan tabel.



Kriteria uji : Tolak H_0 jika $Z > Z_{0,025}$ atau $Z < -Z_{0,025}$

Maka H_0 diterima dimana tidak ada perbedaan yang signifikan antara pemesinan basah dan pemesinan kering. Ronald E. Walpole (1993)

KESIMPULAN

1. Nilai kekasaran permukaan dari baja AISI 4340 pada pemesinan hijau sedikit lebih baik dari pada pemesinan basah dengan 3 bentuk kondisi pemotongan optimum seperti terlihat di gambar 5 dan 6 yang mana grafiknya kelihatan saling berimpit berarti Perbandingannya tidak signifikan.
2. Dengan kondisi pemotongan dan Gp yang sama untuk masing-masing keausan VB 0,1; 0,3 dan 0,6 mm diperoleh nilai kekasaran Ravg yang selalu lebih kecil dengan VB (0,1 dan 0,3) mm dibandingkan keausan VB 0,6 mm karena keausan pahat VB emakin besar akan didapati nilai Ravg lebih besar pula.
3. Dari 9 bentuk pemotongan masing-masing untuk keausan VB 0,1; 0,3 dan 0,6 mm terjadi fluktuasi nilai kekasaran permukaan Ravg disebabkan karena adanya perubahan bentuk pemotongan dan Gp berbeda dengan menggunakan standar $L_9(3^4)$ (lihat tabel 4).
4. Menurut kurva distribusi normal batas kiri $Z < -Z_{0,025}$. Nilai Z berada di area yang dapat diterima di mana tidak ada perbedaan yang signifikan antara pemesinan kering dan basah dengan kata lain pemesinan kering memberikan peluang untuk diwujudkan dalam industri pemotongan logam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bulloch H., 2004, *Research & Technology Transfer Workgroup Dry Machining*.
- [2] Canter Neil M., 2003, *The Possibilities and Eliminations of Dry Machining*.
- [3] Che Haroen, Ginting A, Goh JH., 2000, *The Influences of tool wear and Tool Life on Surface Integrity During Turning Tool Steel Using Uncoated Carbide*, 43-52.
- [4] ISO 3685, 1993, *Tool Life Testing With Single Point Turning Tool*.
- [5] Kalpakjian S., 1995, *Manufacturing Engineering and Technology*.
- [6] Liew WYH, Yuan, Ngoi BKA, 2004, *Evaluation of Machining of Performance of STAVAX with PCBN Tools*.
- [7] Rochim T., 1993, *Teori dan Teknologi Pemesinan*.
- [8] Ronald E.Walpole, 1993, *Pengantar Statistik*, Jakarta: PT. Gramedia.
- [9] Sreejith PS dan Ngoi BKA, 2000, *Dry Machining : Maching of Future*.
- [10] Sularso dan Suga K., 1997, *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*.
- [11] S. Sivarajan, 2014, *Green Machining And Forming By The Use Of Surface Coated Tools*
- [12] Vernon Aaron, 2003, *Factors Affecting Surface Roughness In Finish Hard Turning*.