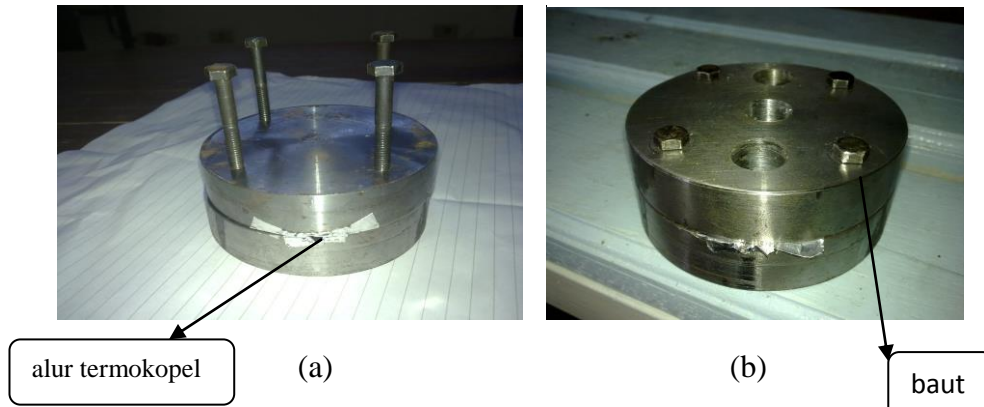


IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengambilan Data Percobaan

Pengujian ini dilakukan pada proses mesin gurdi dengan masing – masing tiga kecepatan putaran spindel (443 rpm, 635 rpm dan 970 rpm) dan tiga variasi kecepatan makan (0,10 mm/rev, 0,18 mm/rev dan 0,24 mm/rev) serta diameter mata bor 18 mm. Untuk mengukur temperatur pada daerah deformasi geser, kabel termokopel tipe K ditanam pada alur (Gambar 32a) yang telah dibuat pada permukaan spesimen, setelah itu kabel tersebut dilapisi dengan aluminium foil dan disambungkan ke osiloskop digital. Selanjutnya menyatukan kedua spesimen dengan menggunakan baut baja yang berukuran 40 mm sebanyak 4 buah seperti yang terlihat pada gambar 32b. Kemudian dilakukan proses gurdi sepanjang 20 mm sampai mengenai kabel termokopel tipe K sehingga kabel tersebut ikut terpotong. Panas yang terjadi pada pisau pahat (*cutting edge*) yang mengenai kabel termokopel akan menimbulkan sinyal tegangan pada osiloskop digital. Setelah didapatkan hasil tegangan, proses selanjutnya adalah mendapatkan nilai temperatur dalam satuan °C dengan cara mengkalibrasi termokopel yang digunakan dengan tungku pemanas (*furnace*), sehingga didapatkanlah data-data pengujian berupa variasi temperatur. Dimana akan dibahas lebih lanjut pada bagian C bab ini.



Gambar 32. (a) Spesimen sebelum dibor (b) Spesimen sesudah dibor

B. Data Hasil Penelitian

Tabel 11 memperlihatkan data hasil pengujian ini didapatkan dengan kecepatan putar sebesar 443 rpm dengan 3 variasi kecepatan makan yaitu 0,10 , 0,18 dan 0,24 mm/rev.

Tabel 11. Pengujian Dengan kecepatan putaran Spindel 443 rpm

No	V rot (rpm)	Feed rate (mm/rev)	Tegangan(mv)
1	443	0,10	4,35
2		0,18	5,33
3		0,24	5,95

Tabel 12 memperlihatkan data hasil pengujian ini didapatkan dengan kecepatan putar sebesar 635 rpm dengan 3 variasi kecepatan makan yaitu 0,10 , 0,18 dan 0,24mm/rev.

Tabel 12. Pengujian Dengan Kecepatan Putaran Spindel 635 rpm

No	V rot (rpm)	Feed rate (mm/rev)	Tegangan(mv)
1	635	0,10	4,74
2		0,18	6,04
3		0,24	6,41

Tabel 13 memperlihatkan data hasil pengujian ini didapatkan dengan kecepatan putar sebesar 635 rpm dengan 3 variasi kecepatan makan yaitu 0,10 , 0,18 dan 0,24mm/rev.

Tabel 13. Pengujian Dengan Kecepatan Putaran Spindel 970 rpm

No	V rot (rpm)	Feed rate (mm/rev)	Tegangan(mv)
1	970	0,10	6,26
2		0,18	6,96
3		0,24	7,88

Dari data yang didapatkan pada penelitian dapat dilihat pada tabel diatas dapat diketahui bahwa tegangan akan cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putaran spindel dan kecepatan makan.

C. Proses Pengkalibrasian Pada Tungku Pemanas (*Furnace*)

Setelah mendapatkan hasil pengujian berupa tegangan dari pencatatan osiloskop digital maka data yang didapatkan tersebut dikonversikan ke temperatur ($^{\circ}\text{C}$) dengan cara mengkalibrasi termokopel yang digunakan. Proses kalibrasi termokopel ini dilakukan dengan menggunakan tungku pemanas (*furnace*) seperti yang terlihat pada gambar 33. Pada proses kalibrasi ini kabel termokopel disambungkan ke osiloskop digital, setelah kabel termokopel dan osiloskop digital disatukan maka langkah selanjutnya meletakkan ujung kabel termokopel ke dalam tungku pemanas (*furnace*). Setelah itu, tungku pemanas (*furnace*) di set temperaturnya dimulai dari 100°C sampai 250°C .

Hasil termokopel tipe K dapat dilihat pada Tabel 14.



Gambar 33. Tungku pemanas (*Furnace*), kabel termokopel dan osiloskop

Tabel 14. Konversi Temperatur terhadap Tegangan

No	Temperatur (°C)	Tegangan (mv)
1	100	3,06
2	150	5,16
3	200	7,15
4	250	9,12

Dari tabel 14 diatas dapat dibuat persamaan kalibrasi dengan metode penyelesaian persamaan linier regresi ordo I [Steven C , 1998] yaitu sebagai berikut ;

$$y = a_1 + a_0(x_i) \quad \dots\dots\dots (12)$$

dimana, untuk mendapatkan nilai a_1 dan a_0 dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut ;

T (°C) = X_i dan V (mv) = Y_i dimana ($n = 4$)

$$\sum X_i = (100 + 150 + 200 + 250) = 700$$

$$\sum Y_i = (3,06 + 5,16 + 7,15 + 9,12) = 24,49$$

$$\begin{aligned}\sum X_i Y_i &= [(100 \times 3,06) + (150 \times 5,16) + (200 \times 7,15) + (250 \times 9,12)] \\ &= 4790\end{aligned}$$

$$\sum X_i^2 = (100^2 + 150^2 + 200^2 + 250^2) = 135000$$

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{4} = \frac{700}{4} = 175$$

$$\bar{y} = \frac{\sum Y_i}{4} = \frac{24,49}{4} = 6,123$$

$$a_1 = \frac{n(\sum X_i Y_i) - \sum X_i (\sum Y_i)}{n(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2} \quad [\text{Steven C , 1998}] \dots\dots (13)$$

$$= \frac{4(4790) - (700 \times 24,49)}{4(135000) - (700)^2} = 0,0403$$

$$a_0 = \sum Y_i - a_1 (n) \quad [\text{Steven C , 1998}] \dots\dots (14)$$

$$= 6,1225 - 0,04034 (175) = 6,1225 - 7,0595$$

$$= -0,934$$

Dari hasil diatas, dapat ditulis persamaan

$$Y_i = a_0 + a_1(X_i)$$

$$Y_i = -0,934 + 0,040 X_i$$

$$0,04034 X_i = Y_i + 0,934 \sim X_i = 24,783 V Y_i + 23,262$$

$$T (^{\circ}C) = 24,783 V (mv) + 23,262$$

Selanjutnya dilakukan uji liniertas kalibrasi dengan asumsi apabila *standard error of the estimate* lebih kecil *standard deviation* ($S_{x/y} < S_y$) maka persamaan model itu adalah linier apabila sebaliknya maka persamaan itu tidak linier. Untuk mendapatkan nilai dari $S_{x/y}$ dan S_y dapat digunakan persamaan sebagai berikut ;

$$S_{x/y} = \sqrt{S_r/n - 2} \quad [\text{Steven C , 1998}] \dots\dots(15)$$

$$= \sqrt{0,0081/4 - 2}$$

$$= 0,063$$

$$S_y = \sqrt{S_t/n - 1} \quad [\text{Steven C , 1998}] \dots\dots(16)$$

$$= \sqrt{20,335/4 - 1}$$

$$= 2,603$$

dimana, S_t : jumlah nilai $(Y_i - \bar{y})$ (lihat Tabel 15)

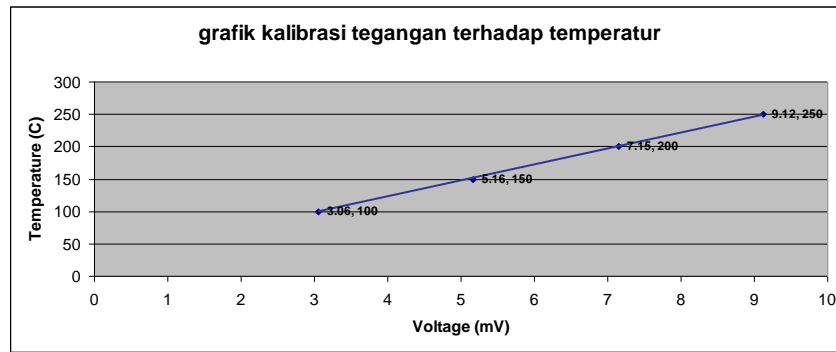
S_r : Jumlah nilai $(Y_i - a_0 - a_1 - a_1 X_i)^2$

Dari hasil perhitungan diatas *standard error of the estimate* lebih kecil dari *standard deviation* ($S_{x/y} < S_y$) sehingga hasil pengukuran kalibrasi termokopel linier regression yang terlihat pada gambar 33.

Tabel 15. Perhitungan Linear

no	X_i	Y_i	$(Y_i - \bar{y})$	$(Y_i - a_0 - a_1 - a_1 X_i)^2$
1	100	3,06	9,378	0,0016
2	150	5,16	0,926	0,0018
3	200	7,15	1,067	0,0002
4	250	9,12	8,985	0,0045
Σ	700	24,49	20,335	0,0081

Ket : $X_i = T(^{\circ}\text{C})$ dan $Y_i = (\text{mv})$



Gambar 34. Grafik kalibrasi tegangan terhadap temperatur

Setelah melakukan perhitungan menggunakan persamaan linier, maka didapatkanlah hasil temperatur dari tegangan yang didapat pada saat pengujian dengan cara memasukan nilai tegangan yang didapat pada persamaan berikut ini.

$$T(^{\circ}\text{C}) = 24,783 \text{ V}(\text{mv}) + 23,262$$

Hasil akhir pengukuran temperatur dari tegangan yang sudah dikalibrasi dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Kalibrasi Tegangan Terhadap Temperatur

Feed Rate	Kecepatan Putar (rpm)					
	443		635		970	
	V (mv)	T (°C)	V (mv)	T (°C)	V (mv)	T (°C)
0,1	4,35	131,071	4,74	140,737	6,26	178,408
0,18	5,33	155,359	6,04	172,955	6,96	195,756
0,24	5,95	170,477	6,41	182,125	7,88	218,557

D. Analisis Perhitungan Temperatur Pada Zona Deformasi Geser

Temperatur yang dihasilkan pada zona deformasi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 5. Untuk variasi kecepatan putaran spindle dan kecepatan makan, dapat dihitung sebagai berikut ;

Nilai tebal geram (t_c) secara lengkap setiap kondisi pemotongan dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Nilai tebal geram setiap kondisi pemotongan

<i>Feed Rate</i>	Tebal geram pada kecepatan 443 rpm (mm)	Tebal geram pada kecepatan 635 rpm (mm)	Tebal geram pada kecepatan 970 rpm (mm)
0,10	0,275	0,377	0,436
0,18	0,345	0,438	0,526
0,24	0,366	0,509	0,495

Kecepatan Putaran Spindel 443 rpm dengan kecepatan makan 0,10 mm/rev

$$r_c = \frac{t_0}{t_c} = \frac{0,10}{0,275} = 0,363$$

$$\begin{aligned} \tan \phi_n &= \frac{r_c \cdot \cos \alpha_n}{1 - r_c \cdot \sin \alpha_n} = \frac{0,363 \times \cos 30}{1 - 0,363 \times \sin 30} = 0,384 \\ \phi_n &= 21,006^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{b}{\cos i} \times \frac{h}{\sin \phi_n} = \frac{10,39}{\cos 30} \times \frac{0,10}{\sin 21,006} \\ &= 3,347 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_s &= \tau_s \times A_s = 580 \text{ mpa} \times 3,347 \text{ mm}^2 \\ &= 1941,26 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= r_c \times v = r_c \times \frac{\Omega d n}{1000} = 0,363 \times \frac{3,14 \times 18 \times 443}{1000} \\ &= 0,363 \times 25,038 \\ &= 9,088 \text{ m/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_s &= F_s \times V_s = 1941,26 \text{ N} \times 9,088 \text{ m/min} \\ &= 17642,17 \text{ Nm/min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_i &= \frac{1}{1 + 1,329 \sqrt{\frac{k_f}{\rho c v a}}} = \frac{1}{1 + 1,329 \sqrt{\frac{44,7 \times 125}{7800 \times 432,6 \times 25,038 \times 0,0001}}} \\ &= 0,472 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan hasil daya geser dan jumlah energi pada saat deformasi geser maka temperatur yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan berikut ini ;

$$Q_s = \frac{T_1 \times P_s}{\rho \times c \times a \times b \times V} + Q_i$$

$$= \frac{0,472 \times 17642,170 \text{ Nm/min}}{7800 \text{ Kg/m}^3 \times 432,6 \text{ J}^2/\text{Kg}/ \times 0,0001 \text{ m} \times 0,010 \text{ m} \times 25,038 \text{ m/min}} + 30^\circ\text{C}$$

$$= 124,863^\circ\text{C}$$

dimana,

$$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$$

$$k = 47,7 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\gamma = 7500 \text{ /sec} : 125/\text{min}$$

$$\text{Helix angle } (\alpha) = 30^\circ$$

$$\text{oblik angel } (i) = 30^\circ$$

$$C = 432,6 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$a = \text{Kecepatan makan}$$

$$b = 10,39$$

$$Q_i = 30^\circ$$

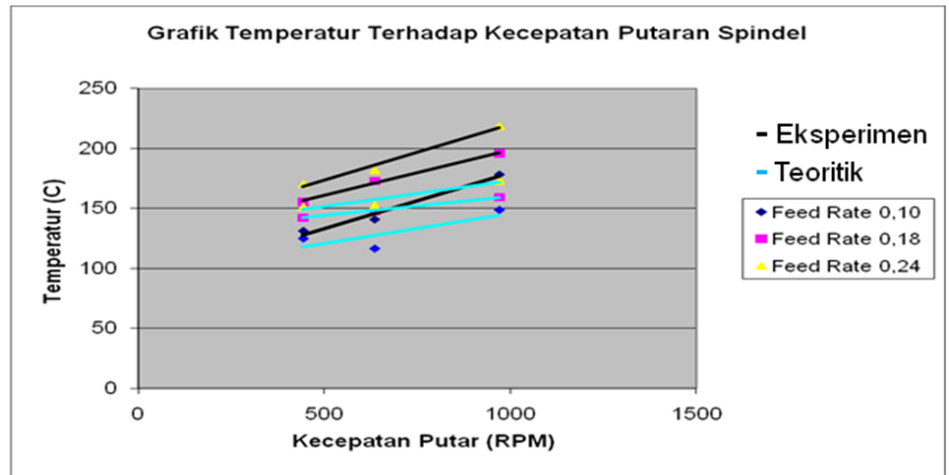
Perhitungan temperatur ($^\circ\text{C}$) secara lengkap setiap kondisi pemotongan dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Temperatur yang dihasilkan secara teoritik

feed rate mm/rev	Kecepatan putaran spindel		
	443 rpm	635 rpm	970 rpm
	T ($^\circ\text{C}$)	T ($^\circ\text{C}$)	T ($^\circ\text{C}$)
0,10	124,863	116,47	148,53
0,18	142,528	147,833	159,349
0,24	151,661	153,03	173,13

E. Pengaruh Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Temperatur

Berikut gambar 35 grafik pengaruh kecepatan putaran spindel terhadap temperatur.

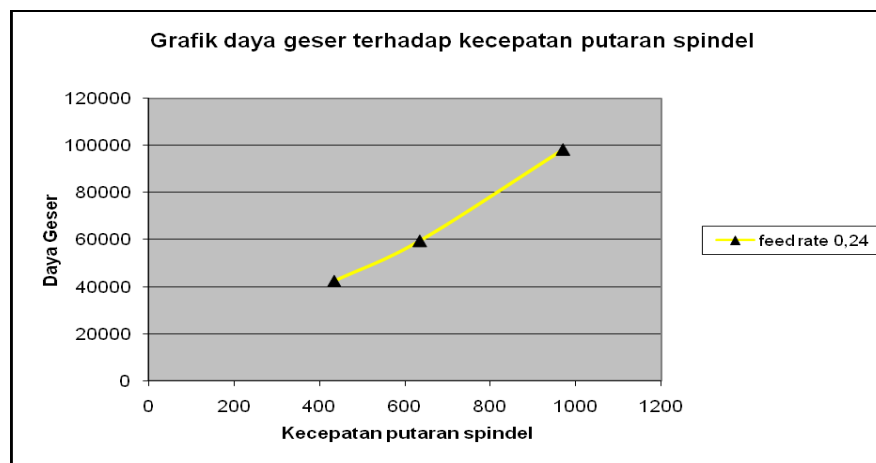


Gambar 35. Grafik temperature terhadap kecepatan putaran spindel

Dari grafik temperatur terhadap kecepatan putaran spindel dengan variasi putaran 443, 635 serta 970 rpm dan kecepatan makan 0,10 mm/rev secara pengujian eksperimen dan teoritik dari hasil analisis perhitungan dengan kedalaman potong yang sebesar 20 mm diperoleh temperatur pahat sebesar 131,071°C, 140,737°C dan 178,408°C, sedangkan secara teoritik diperoleh temperatur sebesar 124,863 °C , 116,47 °C dan 148,53 °C. Dengan kecepatan makan 0,18 dengan variasi kecepatan putar yang sama dan kedalaman potong sebesar 20 mm temperatur yang didapat dengan pengujian eksperimen sebesar 155,358 °C, 172,955 °C dan 195,756 °C sedangkan secara teoritik 142,528 °C, 147,833 °C dan 159,349 °C. Begitu juga dengan gerak makan 0,24 dengan kedalaman pengeboran yang sama dan variasi putaran 443, 635 serta 970 rpm cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putar yaitu temperatur yang didapat secara eksperimen

sebesar 170,477 °C, 182,125 °C dan 218,557 °C sedangkan secara teoritik 151,661 °C, 153,03 °C dan 173,13 °C. Pada gambar grafik 35 dapat dilihat bahwa temperatur mata bor cenderung meningkat hal ini disebabkan kecepatan putar yang bervariasi, semakin tinggi kecepatan putar maka semakin tinggi pula panas yang ditimbulkan. Temperatur yang dihasilkan paling besar terjadi pada kecepatan 970 rpm yaitu sebesar 218,557 °C, 195,756 °C dan 178,407 °C.

Dari penjelasan diatas diketahui bahwa kecepatan potong meningkat diikuti oleh peningkatan temperatur. Hal ini diakibatkan oleh peningkatan daya geser akibat peningkatan kecepatan potong seperti yang terlihat pada gambar grafik 36.

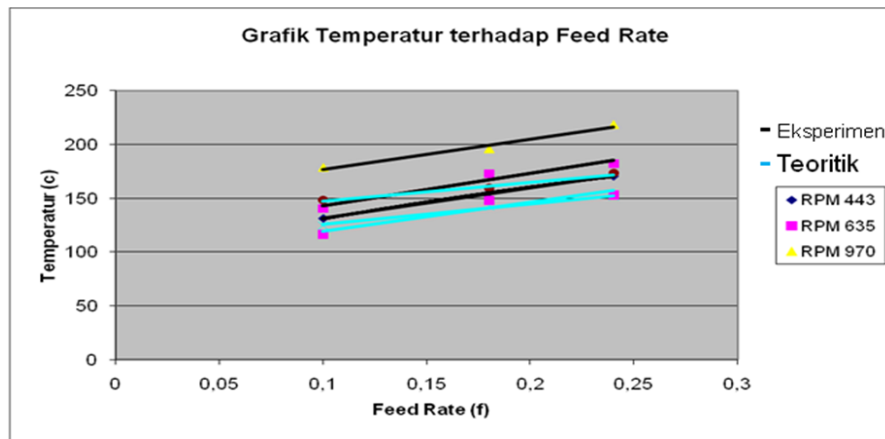


Gambar 36. Grafik Daya Geser Terhadap Kecepatan Putaran Spindel

Konsekuensinya energi panas yang dihasilkan selama proses pemotongan gurdi meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan potong. Hal ini yang menyebabkan temperatur pemotongan pada zona deformasi geser meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan potong.

F. Pengaruh Kecepatan Makan Terhadap Temperatur

Berikut gambar 37 grafik pengaruh kecepatan makan terhadap temperatur



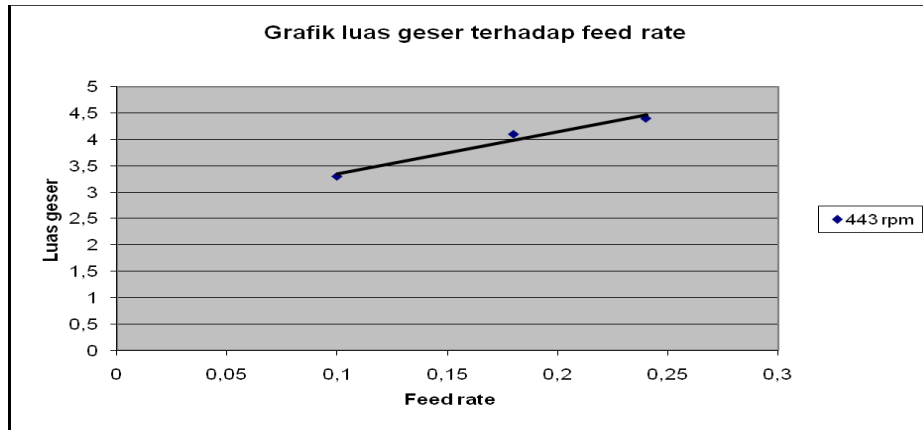
Gambar 37. Grafik temperatur terhadap kecepatan makan

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa temperatur yang didapatkan baik secara eksperimen maupun teoritik dengan analisis perhitungan semakin tinggi seiring dengan perbedaan kecepatan makan (*Feed rate*) yang bervariasi, dengan kecepatan putaran spindelnya yaitu sebesar (443 rpm, 635 rpm dan 970 rpm) dan variasi kecepatan makan (*Feed rate*) 0,10 , 0,18 dan 0,24 mm/rev.

Pada kecepatan putar 443 rpm untuk kecepatan makan 0,10 mm/rev temperatur yang dihasilkan secara eksperimen sebesar 131,071 °C, temperatur ini lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan makan 0,18 mm/rev yang mempunyai nilai temperatur sebesar 155,358 °C sedangkan pada kecepatan makan 0,24 mm/rev hasil yang didapat temperatur semakin meningkat, temperatur yang didapat pada gerak makan 0,24 mm/rev ini sebesar 170,477 °C. Sedangkan secara teoritik analisis perhitungan temperatur yang dihasilkan 124,863 °C, 142,528 °C dan 151,661 °C dengan variasi kecepatan makan (0,10 mm/rev, 0,18mm/rev dan 0,24

mm/rev). Pada kecepatan putar 635 rpm untuk kecepatan makan 0,10 mm/rev temperatur yang dihasilkan secara eksperimen sebesar 140,736 °C, temperatur ini lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan makan 0,18 mm/rev yang mempunyai nilai temperatur sebesar 172,955°C sedangkan pada kecepatan makan 0,24 mm/rev hasil yang didapat temperatur semakin meningkat, temperatur yang didapat pada gerak makan 0,24 mm/rev ini sebesar 182,125°C. Sedangkan secara teoritik analisis perhitungan temperatur yang dihasilkan 116,47°C, 147,833°C dan 153,03°C dengan variasi kecepatan makan (0,10 mm/rev, 0,18mm/rev dan 0,24 mm/rev)

Dari gambar 37 terlihat bahwa Pada kecepatan putaran spindle 970 rpm untuk kecepatan makan 0,10 mm/rev temperatur yang dihasilkan sebesar 178,407 °C, temperatur ini lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan makan 0,18 mm/rev yang mempunyai nilai temperatur sebesar 195,756 °C sedangkan pada kecepatan makan 0,24 mm/rev hasil yang didapat temperatur semakin meningkat, temperatur yang didapat pada gerak makan 0,24 mm/rev ini sebesar 218,557 °C. Sedangkan secara teoritik analisis perhitungan temperatur yang dihasilkan 148,53°C, 159,349°C dan 173,13°C dengan variasi kecepatan makan (0,10 mm/rev, 0,18mm/rev dan 0,24 mm/rev). Dari data yang didapatkan pada kecepatan putar 443 rpm, 635 rpm dan 970 rpm dimana semakin meningkat kecepatan makan pada mesin gundi maka semakin tinggi pula hasil temperatur yang didapatkan. Hal ini disebabkan semakin cepatnya kecepatan makan maka luas geser yang dihasilkan semakin besar seperti yang terlihat pada gambar grafik 38. Semakin besar luas geser yang dihasilkan maka gaya geser dan selanjutnya daya geser akan meningkat pula.



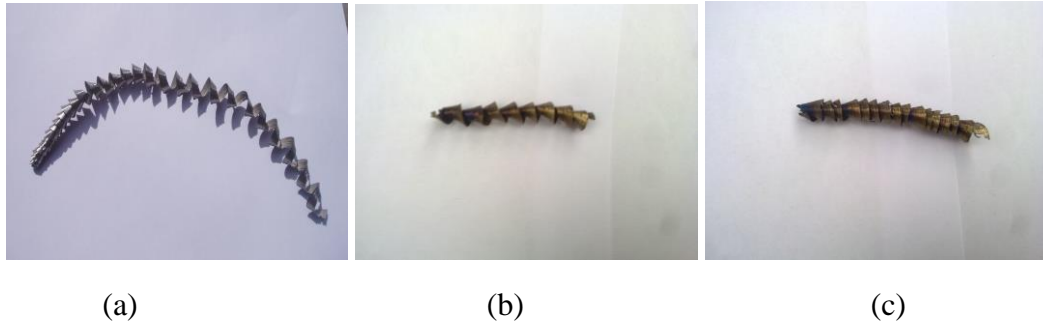
Gambar 38. Grafik Luas Geser Terhadap *Feed Rate*

Konsekuensinya luas geser yang dihasilkan selama proses pemotongan gurdi meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan makan (*Feed Rate*). Hal ini yang menyebabkan temperatur pemotongan pada zona deformasi geser meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan makan.

G. Warna Geram (*chip*) Yang Dihasilkan Pada Proses Pengeboran

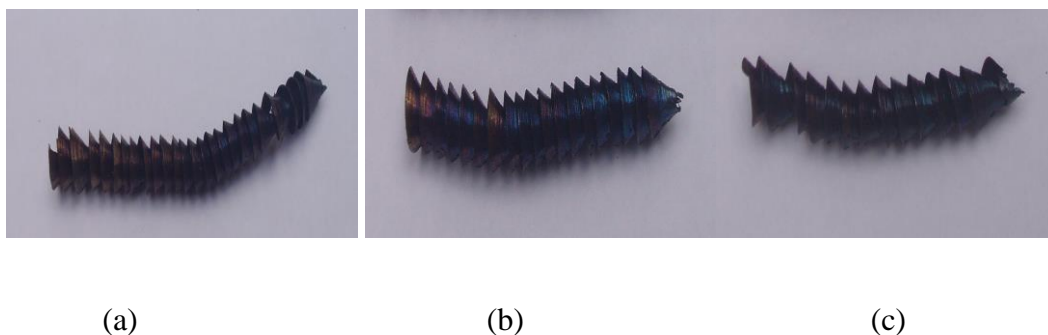
Jika dilihat dari bentuk geram yang dihasilkan pada proses pengeboran, terdapat perbedaan sesuai kecepatan putaran spindel dan kecepatan makan. Pada kecepatan putaran spindel 443 rpm dan kecepatan makan 0,10 mm/rev geram yang dihasilkan sangat panjang dan memiliki warna yang relatif masih sama dengan warna baja karbon seperti terlihat pada 39a. Pada kondisi kecepatan makan 0,18 mm/rev dengan putaran spindel yang sama geram yang dihasilkan relatif agak sama dengan kecepatan makan 0,10 mm/rev tetapi digeram tersebut sudah terlihat warna yang mulai agak keemasan/kecoklatan (Gambar 39b), sedangkan pada kecepatan makan 0,24 mm/rev dengan kecepatan putaran spindel 443 rpm memiliki geram yang hasilkan keemasan yang mulai membiru seperti yang terlihat pada gambar 38c. Ini disebabkan karena geram yang dihasilkan pada kecepatan

putar spindel 443 rpm dan kecepatan makan yang bervariasi terjadi kenaikan temperatur, sehingga terjadi perbedaan warna yang dihasilkan pada geram.



Gambar 39. (a) Kecepatan makan 0,10 mm/rev (b) Kecepatan makan 0,18 mm/rev
(c) kecepatan makan 0,24 mm/rev

Pada kecepatan putaran spindel 635 rpm dan kecepatan makan yang bervariasi 0,10 , 0,18 dan 0,24 mm/rev geram yang dihasilkan memiliki warna keemasan dan mulai mebiru tetapi pada kecepatan makan 0,24 warna geram yang dihasilkan telah berwarna biru muda seperti terlihat pada gambar 40. Ini disebabkan karena geram yang dihasilkan pada kecepatan putar spindel 635 rpm dan kecepatan makan yang bervariasi terjadi kenaikan temperatur, sehingga terjadi perbedaan warna yang dihasilkan pada geram.



Gambar 40. (a) Kecepatan makan 0,10 mm/rev (b) Kecepatan makan 0,18 mm/rev
(c) kecepatan makan 0,24 mm/rev

Sedangkan pada kecepatan putar spindel 970 rpm dan kecepatan makan (*Feed Rate*) 0,10 , 0,18 dan 0,24 mm/rev geram yang dihasilkan berwarna biru (lihat gambar 41). Tetapi pada kecepatan makan 0,24 mm/rev dengan kecepatan putaran spindel 970 memiliki geram yang hasilkan berwarna biru dan mulai agak kehitaman. Ini disebabkan karena geram yang dihasilkan pada kecepatan putar spindel 970 rpm ini sangat panas, sehingga warna geram yang dihasilkan mulai terbakar.



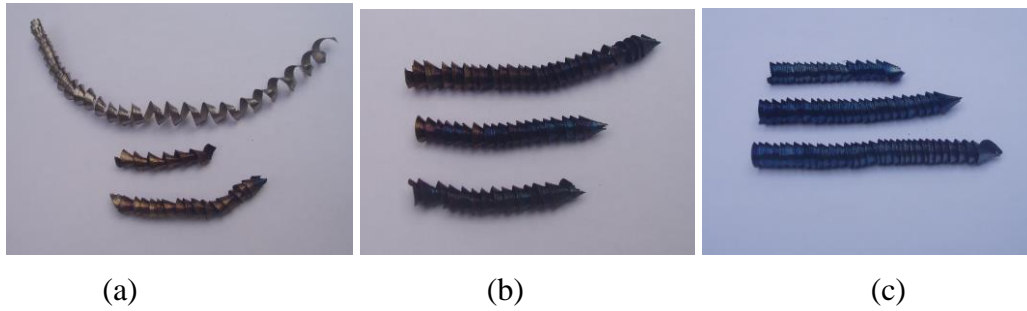
(a)

(b)

(c)

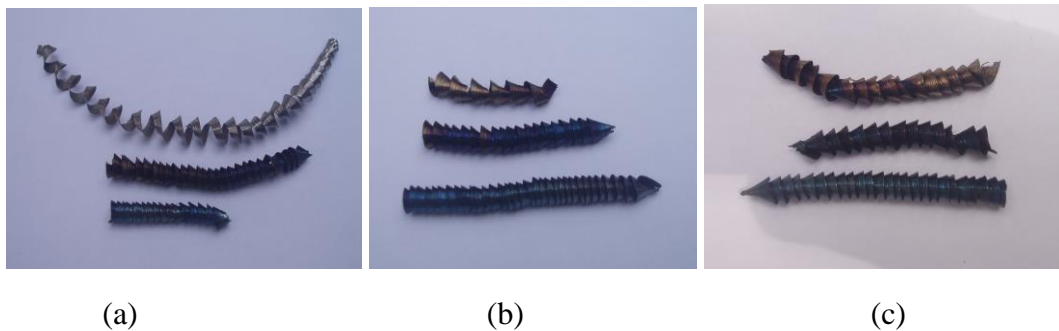
Gambar 41. (a) Kecepatan makan 0,10 mm/rev (b) Kecepatan makan 0,18 mm/rev
(c) kecepatan makan 0,24 mm/rev

Dari warna geram yang dihasilkan pada 3 variasi kecepatan putar spindel dan 3 variasi kecepatan makan (*feed rate*), terlihat jelas bahwa Semakin tinggi kecepatan putaran spindel dan kecepatan makan maka gaya yang dikenakan kepada spesimen semakin besar. Sehingga menimbulkan temperatur dan warna geram yang bervariasi seperti yang terlihat pada gambar 42.



Gambar 42. (a) Kecepatan putaran 443 rpm (b) Kecepatan putaran 635 rpm
(c) kecepatan putaran 970 rpm

Dari gambar di atas terlihat perbedaan warna geram yang signifikan dari variasi kecepatan putaran dan kecepatan makan. Semakin bertambah kecepatan putar dan kecepatan makan maka geram yang dihasilkan semakin panas dan berwarna biru, ini menandakan temperatur yang terjadi pada saat pengujian semakin meningkat. Sehingga pahat yang digunakan akan cepat rusak atau mengalami keausan dan hasil pengeboran pada benda kerja tidak menghasilkan lubang yang sempurna.



Gambar 43. (a) Kecepatan makan 0,10 mm/rev (b) Kecepatan makan 0,18 mm/rev
(c) Kecepatan makan 0,24 mm/rev

Geram yang dihasilkan dari proses gudi merupakan material yang kontinu dengan tebal geram yang dihasilkan bervariasi dari kecepatan makan 0,10, 0,18 dan 0,24 mm/rev (gambar 43). Bentuk geram dan warna geram yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan putaran spindle dan kecepatan makan. (rochim, 1993)