

Pengaruh Parameter Proses Freis Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Fasa Ganda

Nur Mohammad Arifin, Achmad As'ad Sonief, Winarno Yahdi Atmodjo

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Jl. MT.Haryono 167 Malang 65145, Indonesia

[E-Mail: nurmohammadarifin@gmail.com](mailto:nurmohammadarifin@gmail.com)

Abstract

Dual phase is a new structure at low or medium carbon steel. The structure is obtained from the heating of low or medium carbon steel in the region α (temperatures between A_1 - A_3), then follow by holding process within a certain time and cooled quickly (quench) in water, brine or oil. The result has a microstructure of martensite and ferrite as well as a few other structures. The steel usually has high tensile strength, good elongation and there is no discontinuity yield. The problem is how the influence of parameters milling process on surface roughness the dual phase carbon steel. The purpose of this study was to determine the outcome Freis CNC cutting conditions due to the formation process of double and tempering phase that begins with the process of forging (forging) on carbon steel. This study used AISI 1045 steel $\varnothing 16\text{mm} \times 150\text{mm}$ diameter, which was forged at a temperature of 950°C - 900°C to form a rectangular cross section with a size of $10\text{mm} \times 16\text{mm} \times 180\text{mm}$. Dual-phase heating was continued at a temperature of 770°C , arrested at $90'$ and cooled rapidly in oil, followed by a tempering process $600^\circ\text{C}/30'$. The process of cutting was done by cutting finishing with feeding 0.12 ; 0.14 ; 0.16 mm / put and depth of cut 0.4 ; 0.6 ; 0.8 mm while roughing cuts by feeding 0.2 ; 0.4 ; 0.6 mm / put and depth of cut 1.2 , 1.4 ; 1.6 mm. The result Depth of cut can affect the deflection. The deflection could be increased by increasing the depth of cut. The results obtained increase the level of surface roughness. On the depth of cut 0.4 mm with feeding 0.16 mm / put the value obtained average roughness R_a $0.64 \mu\text{m}$, including group N6 roughness when compared with 0.8 mm depth of cut with the same feeding value of average roughness R_a $1.08 \mu\text{m}$ including N7. Surface roughness increased by feeding could affect the feeding of 0.12 mm / put and 0.16 mm / put, 0.2 mm / put and 0.6 mm / put because the distance from the cutting peak roughness increases, so the roughness of the rough and the process of finishing cuts on carbon steel dual phase is more subtle than on the untreated carbon steel with the same cutting parameters.

Keywords: *forging, dual phase (dual phase), the cutting parameters*

PENDAHULUAN

Kebutuhan konstruksi ringan yang meningkat dan telah mengarah pada semakin banyaknya pengembangan struktur material baru untuk mendapatkan material yang ringan tetapi mempunyai kekuatan tinggi.

Pengembangan struktur material baru dapat dilakukan dengan bermacam-macam cara, khususnya baja yaitu dengan merubah struktur mikronya, dengan proses tempa, perlakuan panas atau proses yang lain. Baja karbon dapat dirubah struktur mikronya, khususnya baja karbon rendah-medium yang mempunyai struktur mikro ferit perlit dapat dirubah menjadi fasa ganda (*dual phase*)

Baja karbon rendah-medium (*hypoeutectoid steel*) bila dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*) atau *thermomechanical treatment* dengan pemanasan hingga temperatur antara A_1 dan A_3 (daerah *ferit* dan *austenit* atau $\alpha + \gamma$), kemudian didinginkan dengan cepat (*quench*) sehingga terbentuk struktur mikro baru yaitu martensit dalam matrik ferit yang dimiliki baja fasa ganda (*dual phase steel*) memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dibanding dengan baja hasil rol panas konvensional dan elongasi yang lebih baik serta kekuatan luluh relatif lebih rendah [1].

Lis, *et al* [2] menjabarkan baja C – Mn dengan dua proses perlakuan, proses yang

pertama yaitu *thermomechanical rolling* pada temperatur 1273K – 1298K, kemudian dibiarkan diudara sampai suhu tertentu selanjutnya didinginkan cepat dalam air. Kedua dengan proses *annealing* pada temperature antara A_1 dan A_3 ditahan beberapa saat selanjutnya didinginkan cepat di air dan selanjutnya ditemper. Hasilnya : setelah perlakuan panas, struktur mikronya menjadi *Bainit – Martensite – Austenite* island dalam metrik ferit. Hasil setelah proses *annealing* struktur mikronya terdiri dari *ferrite – martensite* dan sedikit karbida dan perlit. Kekuatan tertinggi terjadi dari proses *thermomechanical rolling*, *Tensile Strength* = 950 MPa, *Yield Strength* = 795 MPa dan *Elongation* = 9,9 %, sedangkan setelah proses *annealing*, *Tensile Strength* = 510 MPa, *Yield Strength* = 328 MPa dan *Elongation* = 37,3 %.

Sementara Rodrigues, et al [3], menjabarkan pengaruh kondisi pemesina proses freis pada permukaan benda kerja yang berfokus pada kekasaran dan kekerasan permukaan. Kondisi freis menunjukkan bahwa operasi pemotongan *finishing* secara signifikan mampu menurunkan kekasaran permukaan ($\pm 46\%$) tanpa merubah kekerasan sebaliknya untuk pemotongan *roughing* menyebabkan peningkatan kekerasan (secara statistik $\pm 6\%$). Permukaan hasil *machining* berkorelasi dengan laju pemakanan, sehingga laju pemakanan *finishing* 41% lebih besar dari proses *roughing* yang menjadikan pengurangan panas dan meminimalkan pengaruh terhadap kekerasan material.

Banyak komponen mesin terbuat dari baja karbon dari hasil dari proses tempa (*forging*) yang masih sulit untuk digantikan dengan proses lainnya, seperti *flens*, *connecting rod*, *hubs* dan *spindle*, dan lain sebagainya. Dari uraian dan penjelasan di atas, yang belum diteliti adalah pembentukan fasa ganda diawali dengan proses tempa (*forging*), alasan benda uji dilakukan fasa ganda karena pada proses pemanasan antara A_1 dan A_3 kemudian didinginkan cepat sebagian struktur mikronya mejadi martensit yang menjadikan benda uji meningkat kekuatannya dibandingkan dengan benda uji tanpa perlakuan.

Peningkatan kekuatan tersebut akan memberikan perubahan karakteristik

parameter pemesinan pada proses freis dan kualitas produk.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam percobaan adalah baja AISI 1045 dengan komposisi sebagai berikut :

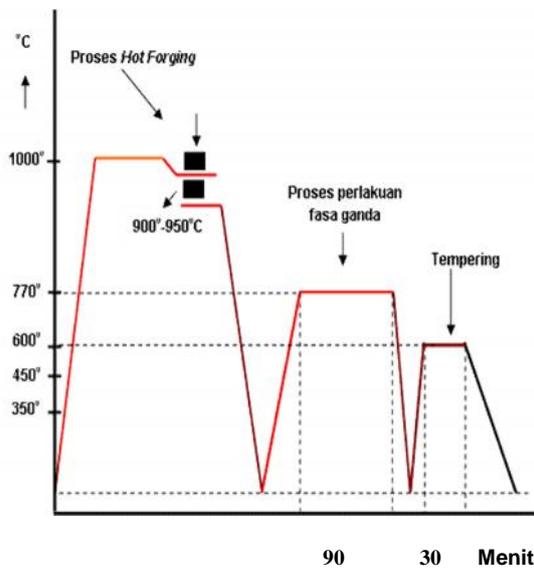
C = 0,43-0,50%; Mn = 0,60-0,90%;

P = 0,040% maks, dan S = 0,050% maks.



Gambar 1. Bahan benda uji sebelum perlakuan

Bahan benda uji sebelum perlakuan terlihat seperti Gambar 1 dan proses perlakuan seperti terlihat pada Gambar 2, menggambarkan proses tempa dan pembentukan fasa ganda, benda kerja diameter 16 mm x 150mm dipanaskan di dalam *furnace* hingga temperatur 1000 °C, dan ditempa pada temperatur 950°C - 900°C menjadi 10mmx16mmx180mm dilanjutkan dengan proses pendinginan berbeda dan pembentukan fasa ganda pada temperatur + (770°C) kemudian didinginkan dengan cepat pada oli dan dilanjutkan dengan proses temper pada temperatur 600°C/30'.



Gambar 2. Diagram proses perlakuan bahan

Benda uji hasil tempa terlihat seperti pada Gambar 3 (a) dan 3 (b).



Gambar 3. (a) Benda uji hasil tempa (b) Benda uji setelah dihilangkan permukaan akibat perlakuan

Tabel 1. Data hasil pengamatan untuk bahan baja karbon fasa ganda dengan pemotongan finishing

Bahan baja karbon fasa ganda dengan pemotongan finishing	Depth of cut mm	Rata-rata kekasaran total	Standar deviasi kekasaran total				
				C4	OE	OE	
Feeding mm/put	C:2	1	0.46	0.49	1.07	0.003	C.306
		2	0.53	0.45	1.17		
		3	0.45	0.51	1.01		
	Rata-rata	0.476	0.467	1.067			
	Standar def	0.038	0.022	0.080			
	C:4	1	0.54	0.61	0.77	0.704	C.172
		2	0.56	0.74	0.99		
		3	0.53	0.65	0.95		
	Rata-rata	0.543	0.666	0.903			
	Standar def	0.015	0.066	0.117			
C:6	1	0.52	0.53	1.13	0.755	C.255	
	2	0.63	0.70	1.21			
	3	0.64	0.67	1.03			
Rata-rata	0.596	0.660	1.140				
Standar def	0.066	0.062	0.065				
Nilai rata-rata depth of cut		0.539	0.601	1.043			
Standar deviasi depth of cut		0.065	0.056	0.133			

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh *Depth of cut* dan *Feeding* terhadap kekasaran pada bahan Baja karbon 1045 ebelum perlakuan dan sesudah perlakuan (Baja karbon fasa ganda).

Hasil uji kekasaran baja karbon dan baja karbon fasa ganda dapat dilihat pada Tabel 1~4 dan analisa data pada Tabel 5~8.

Tabel 2. Data hasil pengamatan untuk bahan baja karbon fasa ganda dengan pemotongan *roughing*

Eahan baja karbon fasa ganda dengan pemotongan <i>roughing</i>	Depth of cut mm			Rata-rata kekasaran total	Standar deviasi kekasaran total
	1.2	1.4	1.6		
	Kekasaran permukaan μm				
Feeding mm/put	1.2	I	II	3.746	0.323
		1	3.32 3.33 3.99		
		2	3.31 3.31 4.07		
		3	3.33 3.90 3.95		
		Rata-rata	3.320 3.913 4.003		
		Stand. dev	0.110 0.013 0.067		
	1.4	V	VI	5.513	0.517
		1	5.28 4.70 5.99		
		2	5.38 4.82 6.04		
		3	5.29 4.77 5.73		
		Rata-rata	5.243 4.733 5.936		
		Stand. dev	0.033 0.030 0.138		
1.6	VII	VIII	5.598	0.351	
	1	5.20 5.61 5.61			
	2	5.27 5.93 6.02			
	3	5.25 5.74 5.95			
	Rata-rata	5.223 5.760 5.810			
	Stand. dev	0.043 0.160 0.333			
Nilai rata-rata depth of cut		4.594 4.812 5.250			
Standar deviasi depth of cut		0.863 0.805 0.952			

Tabel 3. Data hasil pengamatan untuk bahan baja karbon dengan pemotongan *finishings*

Bahan baja karbon dengan pemotongan <i>finishings</i>	Depth of cut mm			Rata-rata kekasaran total	Standar deviasi kekasaran total
	0.7	0.3	0.8		
	Kekasaran permukaan μm				
Feeding mm/put	0.12	I	II	2.777	0.2259
		1	2.42 2.72 2.91		
		2	2.82 2.93 3.04		
		3	2.40 2.77 2.93		
		Rata-rata	2.527 2.806 2.93		
		Stand. dev	0.237 0.139 0.070		
	0.14	IV	V	2.866	0.377
		1	2.54 2.71 3.21		
		2	2.80 2.74 3.36		
		3	2.51 2.69 3.23		
		Rata-rata	2.616 2.713 3.266		
		Stand. dev	0.159 0.025 0.081		
0.16	VI	VIII	3.32	0.282	
	1	2.89 2.94 2.95			
	2	2.80 2.94 3.03			
	3	2.83 3.74 3.06			
	Rata-rata	2.84 3.237 3.013			
	Stand. dev	0.045 0.452 0.056			
Nilai rata-rata depth of cut		2.63 2.91 3.05			
Standar deviasi depth of cut		0.193 0.329 0.154			

Tabel 4. Data hasil pengamatan untuk bahan baja karbon dengan pemotongan *roughing*

Bahan baja karbon dengan pemotongan <i>roughing</i>		Depth of cut mm			Rata-rata kekasaran total	Standar deviasi kekasaran total		
		1,2	1,4	1,6				
		Kekasaran permukaan μm						
		I	II	III				
Feeding mm/pul	0,2	1	2,89	3,56	3,56	3,293	0,438	
		2	2,79	3,66	3,66			
		3	2,87	3,60	3,45			
	Rata-rata		2,717	3,607	3,557			
	Stand def		0,064	0,060	0,105			
	0,4			IV	V	VI		
		1	3,56	3,56	3,56	3,569	0,0677	
		2	3,66	3,57	3,66			
	3	3,60	3,50	3,45				
	Rata-rata		3,607	3,543	3,557			
	Stand def		0,050	0,038	0,105			
	0,6			VII	VIII	IX		
1		3,56	3,56	3,91	3,856	0,361		
2		3,60	4,59	4,24				
3	3,56	3,73	3,95					
Rata-rata		3,573	3,960	4,033				
Stand def		0,073	0,152	0,160				
Nilai rata-rata depth of cut			3,299	3,703	3,715			
Standar deviasi depth of cut			0,439	0,339	0,265			

Hasil pengolahan data untuk pemotongan *roughing* pada bahan baja karbon fasa ganda

Tabel ANCOVA Desain Faktorial dengan 2 Faktor, 3 replikasi

General Linear Model kekasaran versus Feeding, Depth of cut

Faktor	Type	Level	Ukuran
Feeding	fixed	3	0,12, 0,14, 0,16
Depth of cut	fixed	3	0,4, 0,6, 0,8

Tabel 5. Analisa Varian untuk kekasaran permukaan pada bahan baja karbon fasa ganda dengan pemotongan *finishing*

Pengaruh variasi	Derajat kebebasan	Jumlah kuadrat	Rataan kuadrat	f	q
Feeding	2	0,06180	0,03090	6,84	3,55
Depth of cut	2	1,35162	0,67581	145,63	3,55
Feeding*Depth of cut	4	0,10858	0,02714	6,01	2,33
Galat	18	0,08127	0,00451		
Total	26	1,60327			

S = 0,0671924 R-Sq = 94,53% R-Sq(adj) = 92,68%

General Linear Model kekasaran versus Feeding, Depth of cut

Faktor	Type	Level	Ukuran
Feeding	fixed	3	0,2, 0,4, 0,6
Depth of cut	fixed	3	1,2, 1,4, 1,6

Tabel 6. Analisa Varian untuk kekasaran permukaan pada bahan baja karbon fasa ganda dengan pemotongan *roughing*

Pengaruh variasi	Derajat kebebasan	Jumlah kuadrat	Rataan kuadrat	f	q
Feeding	2	16,1795	8,08975	545,16	3,55
Depth of cut	2	1,8493	0,92465	55,45	3,55
Feeding*Depth of cut	4	1,6429	0,41072	24,65	2,33
Galat	18	0,3001	0,01667		
Total	26	21,9727			

S = 0,129128% R-Sq = 96,63% R-Sq(adj) = 96,03%

Tabel 7. Analisa Varian untuk kekasaran permukaan pada bahan baja karbon dengan pemotongan *finishing*

Pengaruh variasi	Derajat kebebasan	Jumlah kuadrat	Rataan kuadrat	f	q
Feeding	2	0,27561	0,13780	3,77	3,55
Depth of cut	2	0,75552	0,37776	10,23	3,55
Feeding*Depth of cut	4	0,42537	0,10634	2,85	2,33
Galat	18	0,66767	0,03709		
Total	26	2,13222			

S = 0,129128% R-Sq = 96,63% R-Sq(adj) = 96,03%

Tabel 8. Analisa Varian untuk kekasaran permukaan pada bahan baja karbon dengan pemotongan *roughing*

Pengaruh variasi	Derajat kebebasan	Jumlah kuadrat	Rataan kuadrat	f	q
Feeding	2	6,1259	3,06295	45,72	3,55
Depth of cut	2	2,06134E	0,30671	5,08	3,55
Feeding*Depth of cut	4	0,29055	0,07264	3,20	2,33
Galat	18	1,08747	0,06041		
Total	26	8,10476			

S = 0,245794 R-Sq = 86,41% R-Sq(adj) = 80,35%

f : f_{hitung}

f_t : f_{tabel}

S : Standar deviasi error dari ANOVA

R-Sq : menunjukkan besarnya proporsi variasi keseluruhan dalam kekasaran permukaan yang dapat diterangkan atau diakibatkan oleh hubungan linier dengan faktor *feeding/depth of cut*

R-Sq(adj) : menunjukkan besarnya proporsi R-Square di atas yang dijustifikasi

PEMBAHASAN

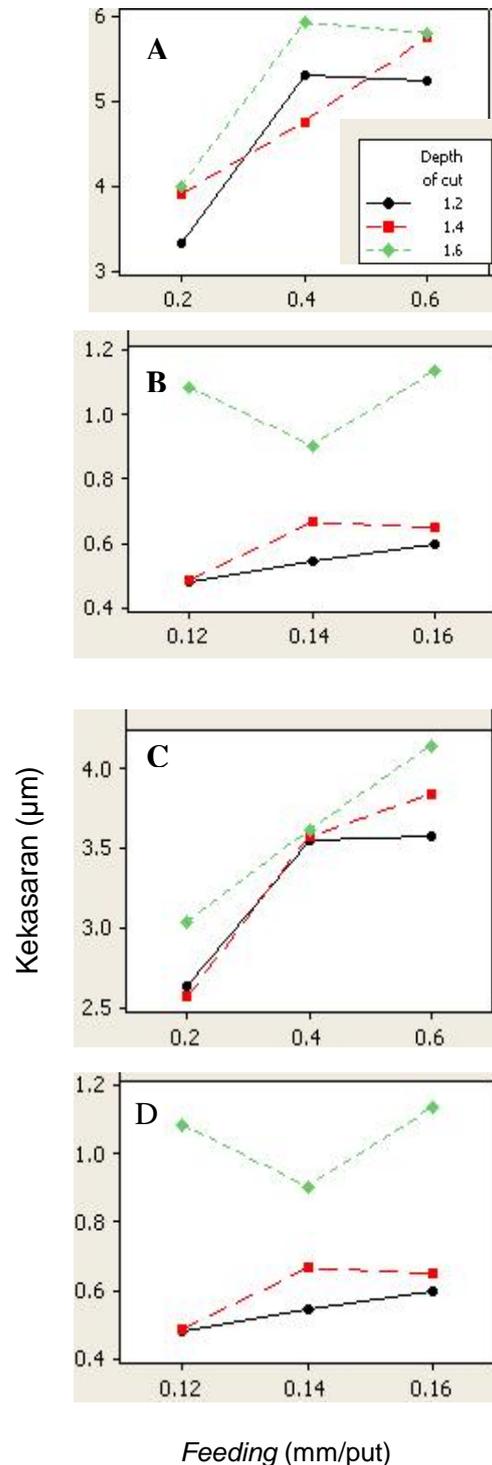
Pada Tabel 5~8 terlihat bahwa faktor *feeding* dan *Depth of cut* pada baja karbon fasa ganda dengan proses pemotongan *finishing* maupun proses *roughing* pada baja karbon fasa ganda maupun baja karbon, masing-masing berpengaruh secara signifikan baik dengan $\alpha = 5\%$ maupun 1% . Hal ini ditunjukkan dengan nilai f_{tabel} masing-masing $\alpha = 5\%$ sebesar 3,55 dan $\alpha = 1\%$

sebesar 6,01 nilainya jauh lebih kecil dari kedua f_{hitung} . Demikian juga interaksi kedua faktor menunjukkan pengaruh yang signifikan dengan nilai $f_{tabel} = 2,93$ yang nilainya lebih kecil dari f_{hitung} .

Disamping itu dari Tabel 5~8 dapat dilihat bahwa besarnya R^2 (*R square*) sebesar 94.93% pada proses pemotongan *finishing* sedangkan proses pemotongan *roughing* 98.63% pada baja karbon fasa ganda demikian juga pada bahan baja karbon yaitu R^2 (*R square*) sebesar 98.03% untuk pemotongan *finishing*, R^2 (*R square*) = 86.41% pemotongan *roughing* dan Nilai ini merupakan koefisien determinasi dari variabel *independent* (*feeding* dan *depth of cut*) terhadap variabel respon (kekasaran) yang menyatakan besarnya nilai yang ingmempengaruhi *feeding* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan. Pada eksperimen ini diperoleh hasil bahwa besarnya pengaruh *feeding* dan *depth of cut* sebesar 94.93% pada pemotongan *finishing* dan 98.63% pada pemotongan *roughing* untuk bahan baja karbon fasa ganda demikian juga pada bahan baja karbon R^2 (*R square*) = 98.63% untuk pemotongan *finising*, R-Sq = 86.41% untuk pemotongan *roughing* terhadap kekasaran permukaan, sedangkan sisanya bisa disebabkan oleh faktor lain. Besarnya nilai koefisien determinasi ini menunjukkan kuatnya pengaruh *feeding* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan.

Pada gambar 4.1 A grafik Interaksi *feeding* - *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan bahan baja karbon fasa ganda. Gambar 4.1C grafik Interaksi *feeding* - *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan pada baja karbon, dengan pemotongan *finishing* menunjukkan bahwa pada *feeding* 0.12; 0.14; 0.16 mm/put pada *depth of cut* 0,4 mm dengan meningkatnya *feeding* maka meningkat pula kekasaran permukaannya dan kenaikannya secara linier, sedangkan pada *depth of cut* 0,8 mm menunjukkan ada penurunan pada *feeding* 0,14 mm/put demikian juga *depth of cut* 0.6 ada perbedaan hal ini dapat dikatakan tidak saling mempengaruhi antara *feeding* - *depth of cut* terhadap kekasaran.

Dari gambar 4 (B) grafik Interaksi *feeding* - *depth of cut* terhadap kekasaran

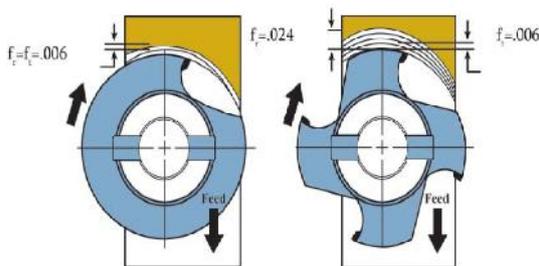


Gambar 4. Grafik Interaksi *feeding* - *depth of cut*

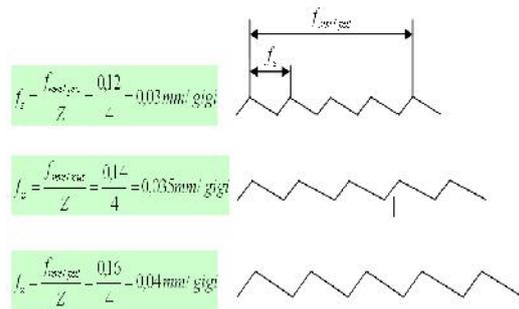
permukaan bahan baja karbon fasa ganda, dengan pemotongan *roughing* menunjukkan bahwa *depth of cut* 1,4 mm dan pada *feeding* 0,2; 0,4; 0,6 mm/put, dengan meningkatnya *feeding* maka meningkat pula kekasaran permukaannya dan kenaikannya secara linier, pada *depth of cut* 1,2 dan 1,6 mm menunjukkan ada perbedaan pada posisi *feeding* 0,6 mm/put, sedangkan gambar 4.1 D grafik Interaksi *feeding* - *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan bahan baja karbon dengan pemotongan *roughing* menunjukkan *depth of cut* 1,6 mm dan *feeding* 0,2; 0,4; 0,6 mm/put dengan meningkatnya *feeding* maka meningkat pula kekasaran permukaannya dan kenaikannya secara linier, pada *depth of cut* 1,2 dan 1,4 mm menunjukkan ada perbedaan pada posisi *feeding* 0,6 mm/put maka dalam hal ini dapat dikatakan tidak ada pengaruh antara *feeding* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan.

Hubungan *feeding* dan kekasaran permukaan

Feeding dalam proses pemotongan dapat berpengaruh hasil akhir kekasaran permukaan. Seleksi nilai *feeding* mm/put dan jumlah *flute* menentukan jarak *feeding* mm/gigi yang menghasilkan jarak puncak tekstur kekasaran permukaan contoh seperti Gambar 5. dan 6.



Gambar 5. Jalur pisau freis f_z dan $f_{mm/put}$ [4]

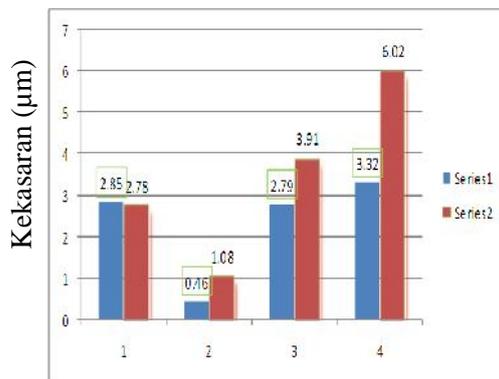


Gambar 6. Ilustrasi jarak puncak tekstur kekasaran permukaan

Perhitungan dan gambar ilustrasi jarak puncak tekstur kekasaran permukaan di atas menunjukkan bahwa *feeding* mm/put semakin meningkat maka *feeding* mm/gigi meningkat pula, sehingga jarak puncak f_z semakin panjang sehingga dapat mempengaruhi kekasaran permukaan semakin besar

Interaksi *Depth Of Cut* Dan *Feeding*

Dalam proses pemotongan material pada proses *freis*, *depth of cut* merupakan salah satu parameter pemotongan dengan besar kecilnya *depth of cut* dibutuhkan gaya potong agar dapat memotong material, dengan semakin meningkat *depth of cut* maka gaya potong meningkat sehingga akan terjadi beban bengkok yang menyebabkan perubahan defleksi hingga hasil akhir yang dicapai adalah kekasaran permukaan. *Feeding* juga merupakan salah satu parameter pemotongan yang harus tersedia. Besar kecil *feeding* untuk proses pemotongan harus sesuai dengan benda kerja yang akan dipotong. Langkah *feeding* yang berupa langkah per-putaran serta jumlah *flute* dapat menghasilkan jumlah *feeding* langkah per-gigi yang bisa mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan. Semakin banyak jumlah *flute* maka dapat menghasilkan tingkat kekasaran permukaan semakin halus. Dengan demikian antara *depth of cut* dan *feeding* jalan sendiri-sendiri sesuai dengan fungsi masing-masing. Sehingga dalam proses pemotongan antara *depth of cut* dan *feeding* tidak ada interaksi.

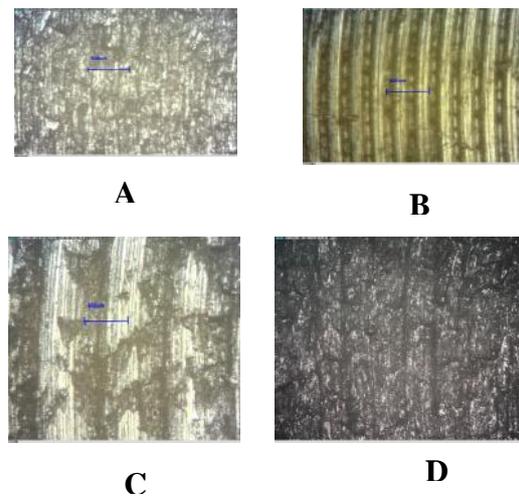


Gambar 7. Grafik *depth of cut*, *feeding* vs kekasaran, (1) dan (2) proses pemotongan *finishing*, (3) dan (4) proses pemotongan *roughing*

Perbandingan hasil proses pemotongan dari bahan baja karbon sebelum perlakuan setelah perlakuan (baja karbon fasa ganda)

Dari grafik Gambar 7, dapat dilihat bahwa berdasarkan *Depth of cut*, *feeding*, dengan peningkatan *Depth of cut*, *feeding* maka terjadi peningkatan kekasaran permukaannya pada proses pemotongan *finishing* maupun proses pemotongan *roughing* tetapi jika dilihat dari bahan yang dipotong pada proses pemotongan *finishing* untuk bahan tanpa perlakuan dengan yang perlakuan (baja karbon fasa ganda) mengalami perubahan yaitu untuk material baja karbon fasa ganda mengalami penurunan kekasaran permukaan dibandingkan baja karbon tanpa perlakuan meskipun parameter pemotongan yang digunakan sama, hal ini dapat dilihat dengan jelas hasil dari foto permukaan Gambar. 8 bahwa pada bahan baja karbon fasa ganda terlihat goresan pemotongan dengan tanda yang seragam maka fakta menentukan bahwa kekasarannya lebih baik.

Pada grafik *depth of cut*, *feeding* vs kekasaran Gambar 7 terlihat hasil dari proses pemotongan *roughing* untuk bahan yang mengalami perlakuan menunjukkan peningkatan dibandingkan bahan tanpa perlakuan, hal ini karena bahan yang mengalami perlakuan (baja karbon fasa ganda) terdapat struktur mikro martensit sehingga bahan mengalami peningkatan kekuatan maka untuk bisa memotong bahan juga dibutuhkan gaya potong lebih tinggi lagi



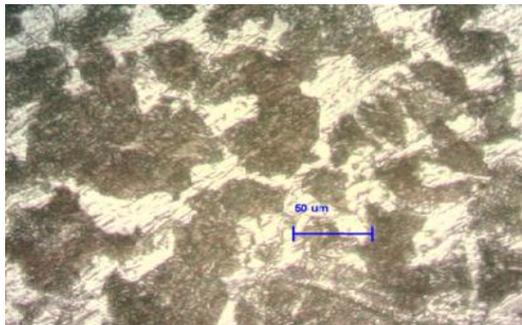
Gambar 8. Bentuk profil kekasaran permukaan hasil pemotongan, pembesaran 75X hasil proses pemotongan (A) dan (B) pemotongan *finishing*, (C) dan (D) pemotongan *roughing*

dibandingkan bahan tanpa perlakuan, dengan peningkatan gaya potong mengakibatkan defleksi pahat meningkat sehingga mempengaruhi kekasaran permukaan, oleh karena itu pada proses pemotongan *roughing* untuk baja karbon fasa ganda kekasaran permukaannya lebih tinggi dibandingkan baja karbon tanpa perlakuan.

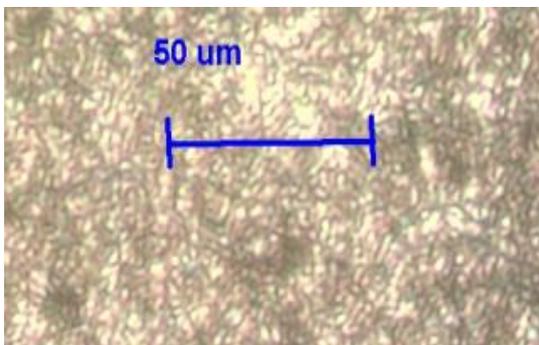
Pada Gambar 8A dari bahan baja karbon fasa ganda dan 8B dari bahan baja karbon dan keduanya mengalami proses pemotongan *finishing* dengan parameter yaitu *feeding* 0.12 mm/put dan *depth of cut* 0.4 mm dan 8D dari bahan baja karbon tanpa perlakuan keduanya juga mengalami proses pemotongan *roughing* dengan parameter *feeding* 0.6 mm/put dan *depth of cut* 1,6 mm.

Dari Gambar 8B dan 8D terlihat hasil pemotongan terdapat goresan pemotongan kurang seragam terindikasi bahwa bahan benda uji ulet .

Pada Gambar *depth of cut*, *feeding* vs kekasaran gambar 7 terlihat hasil dari proses pemotongan *roughing* untuk bahan



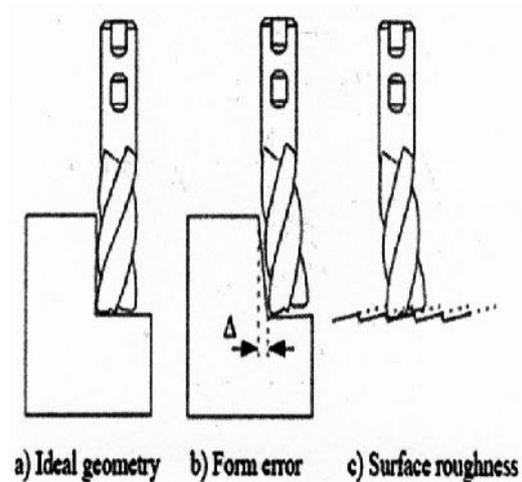
Gambar 9. Strukt mikro AISI 1045 sebelum perlakuan



Gambar 10. Strukt mikro AISI 1045 setelah perlakuan (baja karbon fasa ganda)

yang mengalami perlakuan menunjukkan peningkatan dibandingkan bahan tanpa perlakuan, hal ini karena bahan yang mengalami perlakuan (baja karbon fasa ganda) terdapat struktur mikro martensit sehingga bahan mengalami peningkatan kekuatan maka untuk bisa memotong bahan juga dibutuhkan gaya potong lebih tinggi lagi dibandingkan bahan tanpa perlakuan, dengan peningkatan gaya potong mengakibatkan defleksi pahat meningkat sehingga mempengaruhi kekasaran permukaan, oleh karena itu pada proses pemotongan roughing untuk baja karbon fasa ganda kekasaran permukaannya lebih tinggi dibanding baja karbon tanpa perlakuan.

Dilihat dari struktur mikro pada bahan baja karbon terdapat struktur mikro ferit dan pearlit setelah mengalami proses perlakuan diantaranya proses tempa mengakibatkan butiran mengecil/halus sehingga kekuatan



Gambar 11. Efek defleksi ukuran *error* dan kekasaran permukaan [5].

bahan meningkat kemudian dilanjut dengan perlakuan fasa ganda pada temperatur 770°C dan tempering pada temperatur 600°C akibat proses ini bahan memiliki struktur mikronya berubah sehingga bahan yang mengalami perlakuan diperoleh hasil kekasaran permukaan yang lebih halus dibandingkan bahan tanpa mengalami perlakuan dan *depth of cut* 0.4 mm, sedangkan Gambar 8C dari bahan baja karbon fasa ganda dan 8D dari bahan baja karbon tanpa perlakuan keduanya juga mengalami proses pemotongan *roughing* dengan parameter *feeding* 0.6 mm/put dan *depth of cut* 1,6 mm.

Dari Gambar 8B dan 8D terlihat hasil pemotongan terdapat goresan pemotongan kurang seragam terindikasi bahwa bahan benda uji ulet

Analisis defleksi

Dari hasil percobaan pemotongan benda uji dengan pahat *end mill* untuk pemilihan *depth of cut*, *feeding*, inersia, gaya pahat dapat mempengaruhi hasil akhir kekasaran. *Feeding*, *depth of cut*, semakin meningkat didapatkan nilai kekasaran permukaan semakin besar seperti di tabel 1; 2; 3; 4. Secara ideal (teori) efek defleksi dinamis pada pahat dapat diperlihatkan Gambar 9 menunjukkan geometris kekasaran pada permukaan benda uji terjadi

adanya ukuran *error* pada kedalaman maupun permukaan pada saat proses pemotongan. Rumus defleksi pada pahat *end mill* dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$y_{max} = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I_f} + \frac{1}{6} \frac{F \times L_f (L - L_f) (L + 2L_f)}{E \times I_s} + \frac{1}{6} \frac{F \times L (L - L_f) (2L + L_f)}{E \times I_s}$$

Sudut defleksi

$$= \frac{F \times L^2}{2 \times E \times I} + \left(\frac{F \times (L + L_f)^2}{2 \times E \times I_f} - \frac{F \times L^2}{2 \times E \times I_f} \right) \dots \dots \dots \text{rad}$$

Untuk overhang 40 mm, $f = 0,16$ mm/put, $f_z = 0,04$ mm/gigi

Sudut defleksi pahat *end mill*,

$$= \frac{F \times L^2}{2 \times E \times I} + \left(\frac{F \times (L)^2}{2 \times E \times I_f} - \frac{F \times L_s^2}{2 \times E \times I_f} \right) \dots \dots \dots \text{rad}$$

$$= \frac{159}{2 \times 2,1 \times 10^5 \times 458,2} + \left[\frac{159 \times (40)^2}{2 \times 2,1 \times 10^5 \times 458,2} - \frac{1159 \times (40)^2}{2 \times 2,1 \times 10^5 \times 458,2} \right]$$

$$= 0,00263 = 0,15^0$$

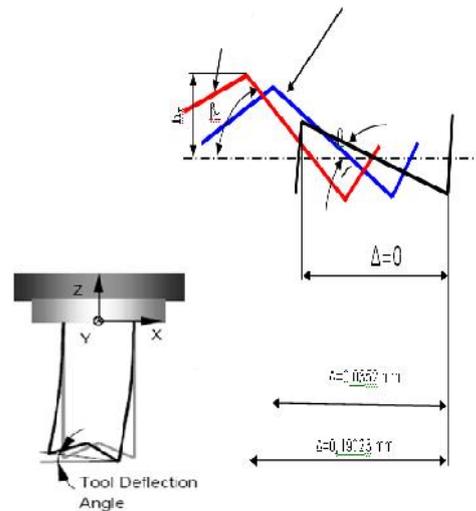
Tabel 9 Besar defleksi dan sudut defleksi

Depth of cut	Feeding (mm/gigi)	Kekasaran Ra μm	Defleksi y_{max}	Sudut (0)
0.8	0.04	1.08	0.03525	0,15
1,6	0,15	5.810	0.19023	0,81

Dari tabel 9 terlihat dengan semakin meningkat *depth of cut* dan *feeding* maka semakin besar defleksi serta sudut defleksi sehingga mempengaruhi kekasaran

$D_o c = 0,8$ mm ; $f_z = 0,04$ mm/gigi
 $R_a = 1,08 \mu\text{m}$

$D_o c = 0,8$ mm ; $f_z = 0,04$ mm/gigi
 $R_a = 1.08 \mu\text{m}$



: sudut cutting edge statis
 α_n : sudut cutting edge pada
 $D_o c = 1,6$ mm ; $f_z = 0,15$ mm/gigi &
 $D_o c = 0,8$ mm ; $f_z = 0,04$ mm/gigi
 h_n : tinggi puncak kekasaran

Gambar 10. Defleksi pahat *end mill*

Pada kondisi statis sudut defleksi masing-masing *depth of cut* dan *feeding*.

Depth of cut = 0,8 mm ;
feeding = 0,04 mm/gigi $\alpha_1 = 0,15^0$
Depth of cut = 0,8 mm ;
feeding = 0,04 mm/gigi $\alpha_3 = 0,81^0$

maka besar sudut *cutting edge* pada masing-masing didapatkan,

$S_0 = 1,5^0$ standar pahat *end mill* kondisi statis [6].

$S_0 = 1,5^0$ (kondisi standar belum ada pembebanan)

$S_1 = 1,5^0 + 0,15^0 = 1,65^0$

$S_2 = 1,5^0 + 0,81^0 = 2,31^0$

Dari perhitungan dan Gambar. 10 defleksi di atas menunjukkan bahwa terjadinya defleksi semakin besar disebabkan *depth of cut* dan *feeding* semakin meningkat, dengan *depth of cut* = 1,6mm dan *feeding* = 0,15 mm/gigi maka nilai kekasaran R_a semakin besar karena di atas sudut *working minor cutting edge* $1^030'$ kondisi statis (Sandvik, 2009). Bila *depth of cut* dan *feeding* semakin kecil

maka yang terjadi pada kekasaran R_a semakin kecil dikarenakan defleksi yang terjadi semakin kecil mendekati sudut $1,5^\circ$.

Sudut defleksi yang dimulai dari statis sampai perubahan dari $depth\ of\ cut = 0,8\ mm$ dan $feeding = 0,04\ mm/gigi$ sampai dengan $depth\ of\ cut = 1,6\ mm$ dan $feeding = 0,15\ mm/gigi$ terjadi peningkatan sudut $cutting\ edge$ mulai $\alpha_0 = 1,5^\circ$ sampai dengan $\alpha_2 = 2,31^\circ$. Dengan adanya peningkatan sudut $cutting\ edge$ maka ketinggian puncak h_n (h_0, h_1, h_2 .) untuk profil geometris permukaan semakin besar pula, sehingga terjadi nilai kekasaran permukaan semakin besar pula.

KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen dalam proses pemotongan *finishing* dan *roughing* pada material baja karbon fasa ganda dengan pengolahan data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Depth of cut* dapat mempengaruhi defleksi, semakin naik *Depth of cut* maka semakin besar defleksinya sehingga hasilnya didapatkan tingkat kekasaran permukaan meningkat yaitu pada *Depth of cut* 0.4 mm dengan *feeding* 0.16 mm/put didapatkan nilai kekasaran rata-rata R_a 0,64 μm termasuk kelompok kekasaran N6 bila dibandingkan dengan *depth of cut* 0,8 mm dengan *feeding* yang sama nilai kekasaran rata-rata R_a 1,08 μm termasuk N7.
2. *Feeding* semakin meningkat dapat mempengaruhi kekasaran permukaan yaitu pada *feeding* 0,12 mm/put dan 0,16 mm/put, 0,2 mm/put dan 0,6 mm/put karena jarak puncak kekasaran dari hasil pemotongan semakin meningkat, sehingga kekasaran semakin kasar.
3. Hasil proses pemotongan *finishing* pada baja karbon fasa ganda lebih halus jika dibandingkan pada baja karbon tanpa perlakuan dengan parameter pemotongan yang sama sedangkan hasil proses pemotongan *roughing* meningkat kekasarannya untuk baja karbon fasa ganda meskipun parameter pemotongannya sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thelning Karl-Erik, 1984, "Steel and its Heattreatment", 2nd edition, Butter Worth & Co. London, Boston,.
- [2] Lis J., 2005 "Dual Phase Technology and Properties of C-Mn Steels with Dual Phase Micro Structure, Institute of Materials Engineering", Czestochowa University of Technology, Poland.
- [3] Rodrigues Alessandro R., 2010, *Effects of Milling Condition on the Surface Integrity of Hot Forged Steel*, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng, volume 32, Page 37 - 43.
- [4] Frais, 2009, "Mengenai Proses Milling", Jakarta
- [5] Kivanc, 2003, "Modeling Statics and Dynamics of Milling Machine Components," Thesis, Sabanci University
- [6] Sandvik, 2009, "Machining Processes Used to Produce Various Shapes": Milling, page 15