

BAB IV HASIL PENELITIAN

IV.1 Data Komposisi Material *Casting*

Tabel 4.1. komposisi kimia baja tuang perkakas mengacu pada JIS SKD 11 menggunakan alat spektrometer.

Paduan A

%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Cu	%V	%Fe
0.546	0.884	1.007	1.581	0.42	0.194	0.02	0.84	0.124	94.3

Catatan: komposisi elemen lain dalam jumlah kecil sebesar 0.084%

Paduan B

%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Cu	%V	%Fe
0.502	2.078	1.015	1.563	0.446	0.187	0.102	0.812	0.126	93.1

Catatan: komposisi elemen lain dalam jumlah kecil sebesar 0.069%

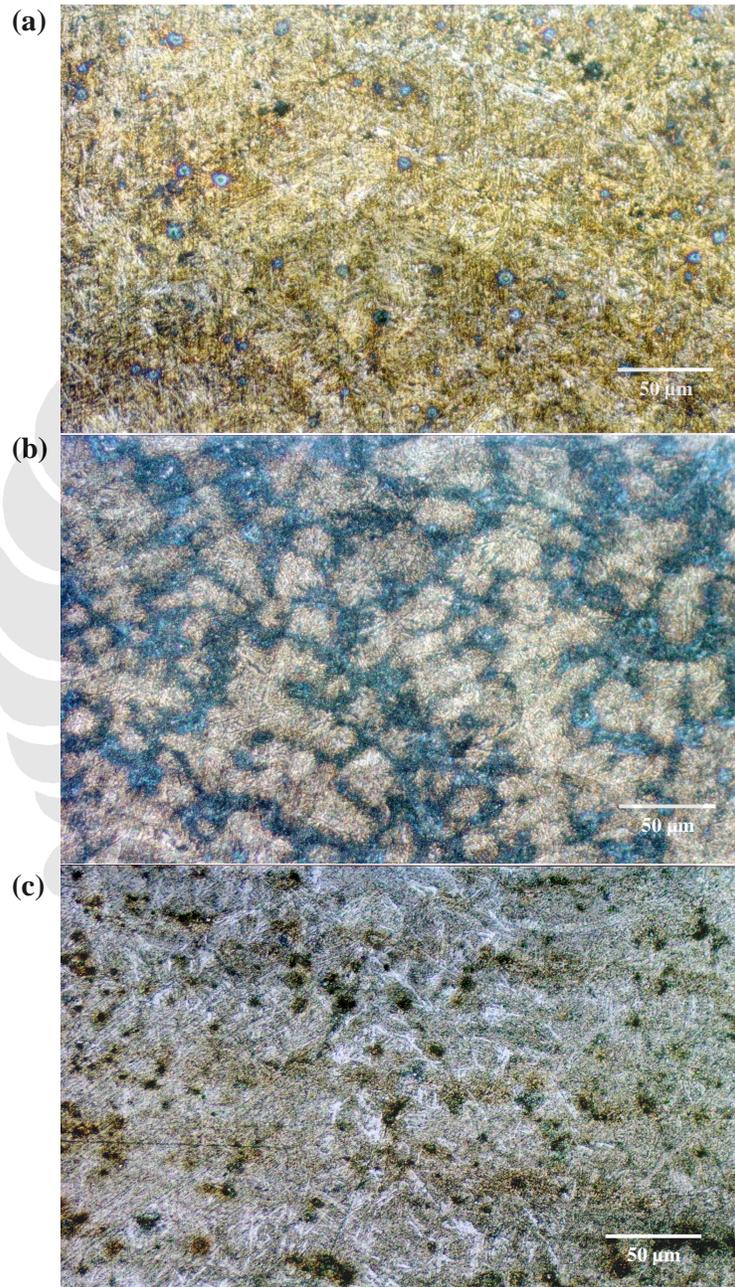
Paduan C

%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%Al	%Cu	%V	%Fe
0.49	3.081	1.001	1.548	0.426	0.177	0.107	0.73	0.12	92.3

Catatan: komposisi elemen lain dalam jumlah kecil sebesar 0.02%

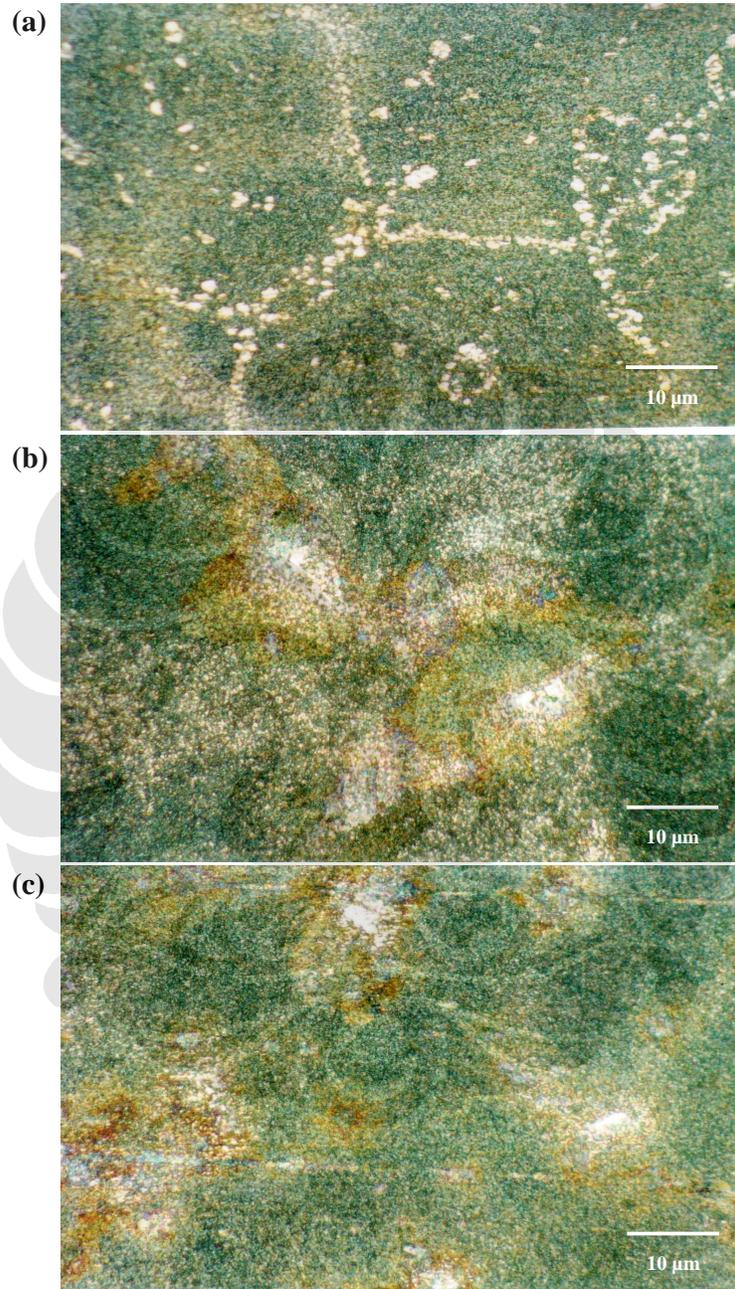
IV.2 Struktur Mikro Setelah Proses Sferoidisasi Anil, Temper, dan *Flame Hardening*

Gambar 4.1 menunjukkan struktur mikro dari setiap sampel baja tuang perkakas yang mengalami proses sferoidisasi anil



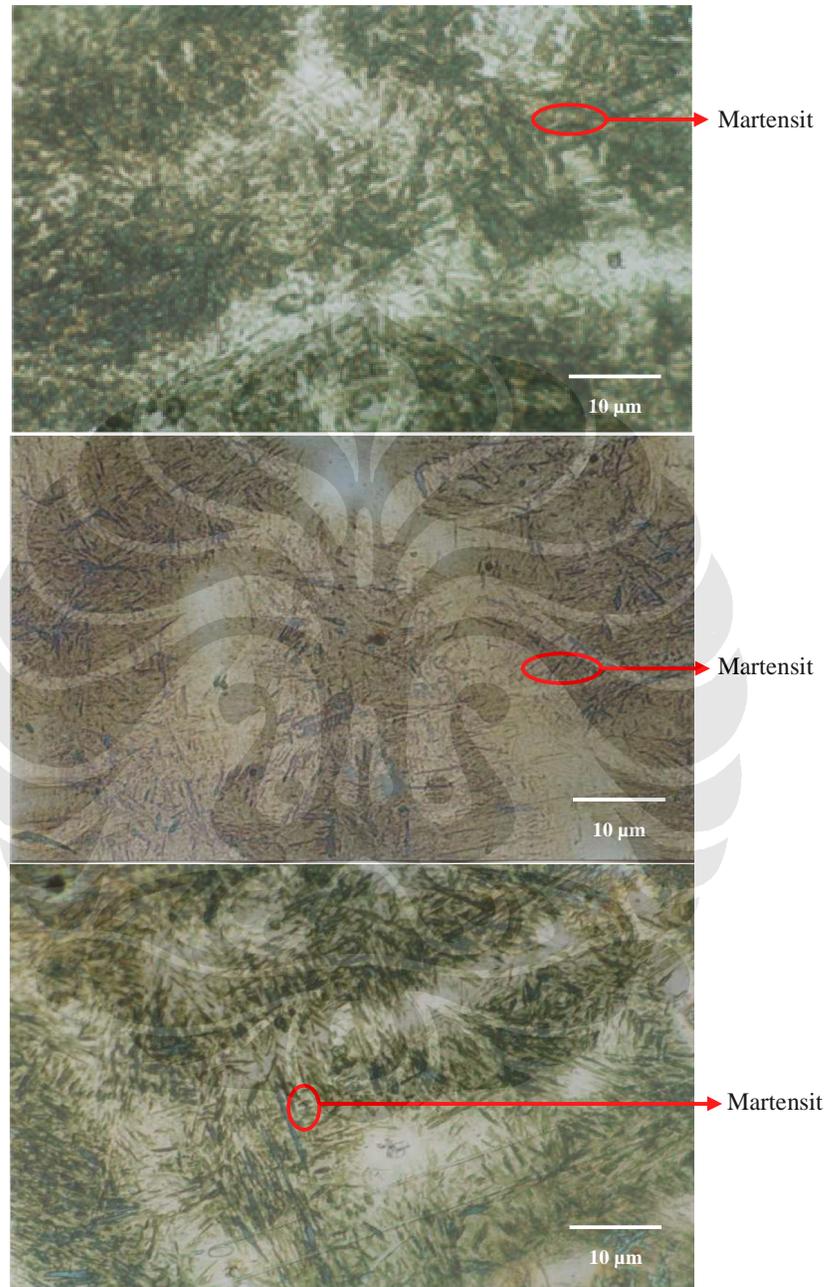
Gambar 4.1 foto mikro setelah sferoidisasi anil pada temperatur 810°C, etsa nital 3%, (a).Sampel A, 0.884 %Si, (b).Sampel B, 2.078 %Si, (c).Sampel C, 3.081 %Si.

Gambar 4.2 menunjukkan struktur mikro sampel baja tuang perkakas yang mengalami proses Temper (Q/T) pada temperatur 640°C selama 4 jam.



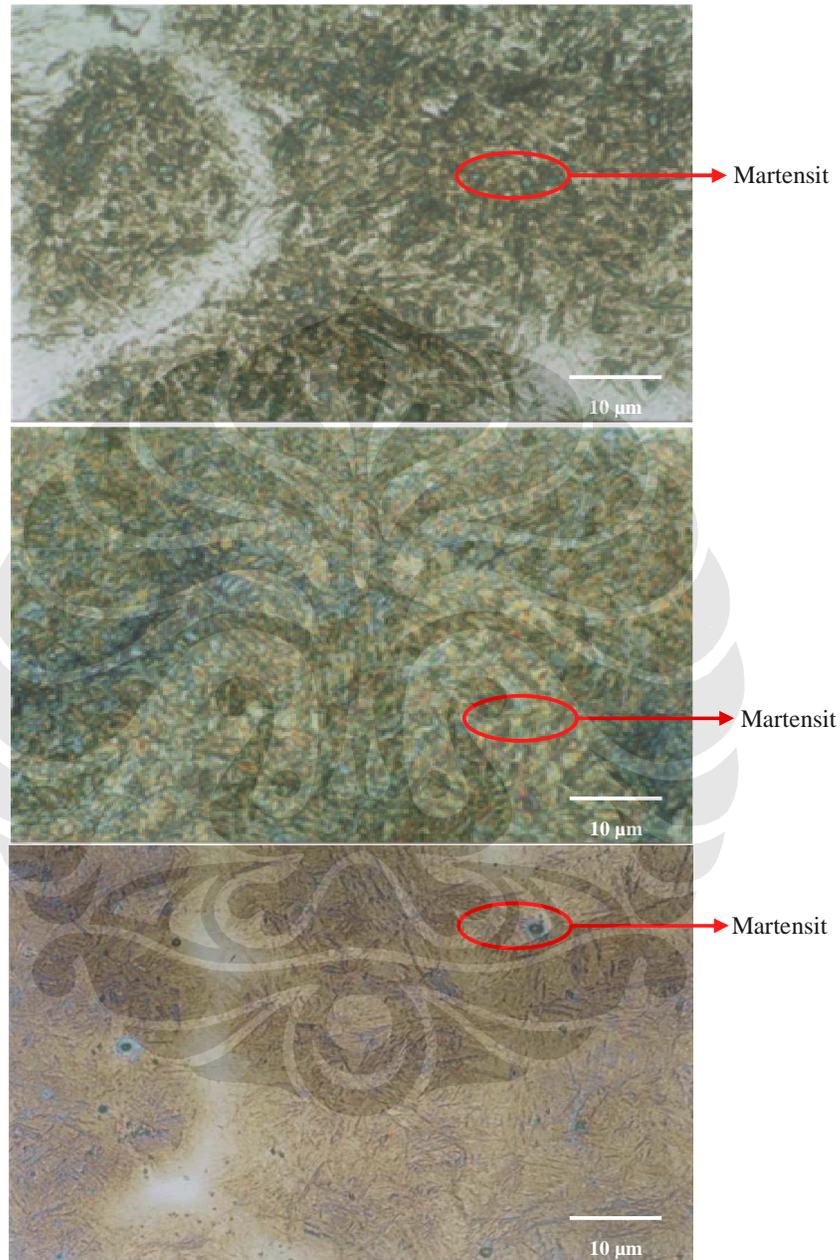
Gambar 4.2 foto mikro setelah proses temper pada temperatur 640°C, waktu tahan 240 menit, etsa nital 3%. (a).Sampel A 0.884 %Si, (b).Sampel B 2.078% Si, dan (c).Sampel C 3.081 %Si.

Struktur mikro sampel A yang telah mengalami proses *flame hardening* dapat dilihat pada gambar 4.3.



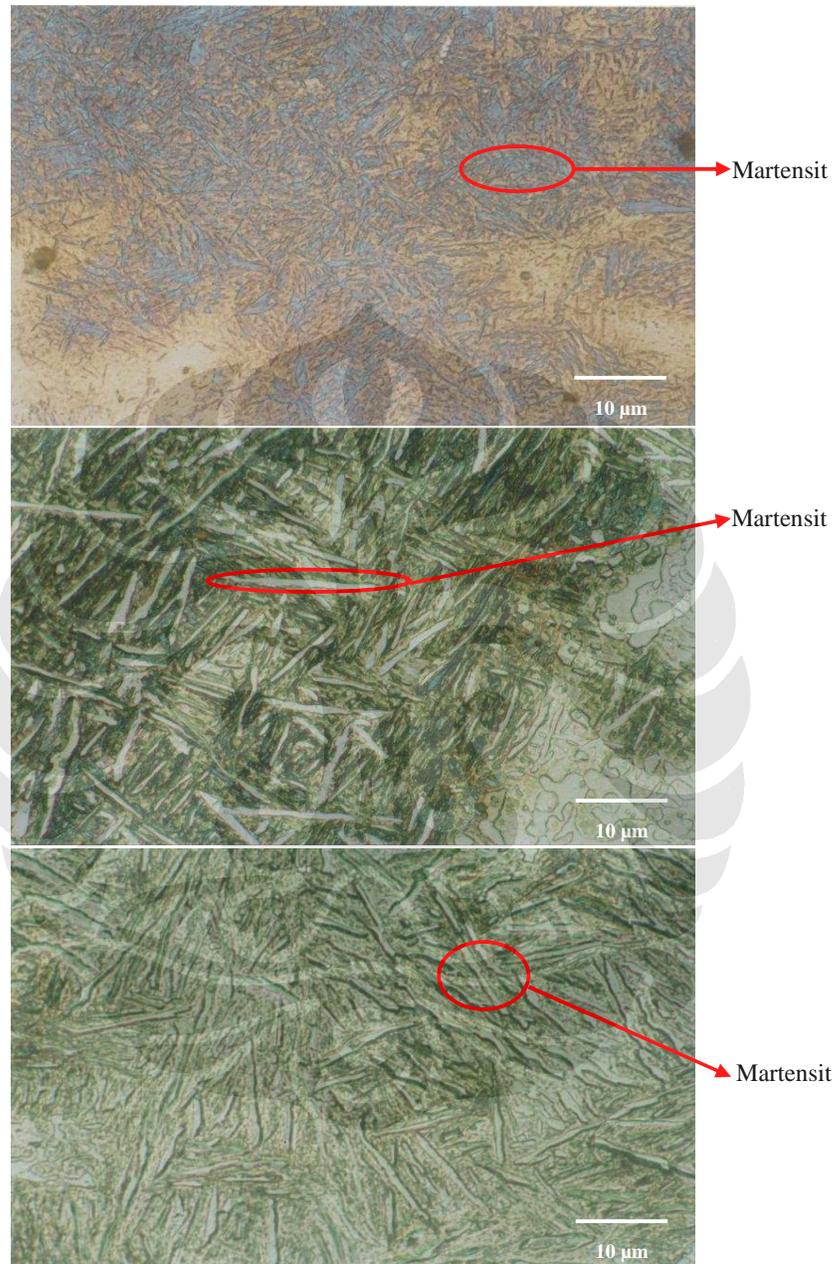
Gambar 4.3 struktur mikro dari sampel A, 0.884 %Si, etsa nital 3%. (a) *affected zone*, (b) *semi affected zone*, (c) *non-affected zone*

Struktur mikro sampel B setelah proses flame hardening dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Struktur mikro sampel B, 2.078 %Si, etsa nital 3%, (a) *affected zone*, (b) *semi affected zone*, (c) *non-affected zone*.

Struktur mikro sampel C yang telah mengalami proses *flame hardening* dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Struktur mikro dari sampel C, 3.081 %Si, etsa nital 3%, (a) *affected zone*, (b) *semi affected zone*, (c) *non-affected zone*.

Setelah proses *flame hardening* yang dilakukan pada sampel C, ternyata terdapat retak mikro pada permukaan sampel. Foto retak mikro pada sampel C tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 retak mikro dari sampel C, 3.081 %Si setelah *flame hardening*

IV.3 Data Distribusi Kekerasan

Standar Pengujian : *Vickers Microhardness, E92-82*

Standar konversi : *ASTM E140, Konversi Vickers Hardness Number (VHN) ke Hardness Rockwell C (HRC).*

IV.3.1 Distribusi kekerasan *As-Cast*

Tabel 4.2 Data pengujian kekerasan permukaan sampel *As-Cast*

Sample A					
d1	d2	dr	HV	HV rata-rata	HRC
0.0615	0.0625	0.062	482.3101		
0.0645	0.0645	0.0645	445.6463	459	46
0.066	0.0625	0.06425	449.1211		
Sample B					
d1	d2	dr	HV		HRC
0.06	0.056	0.058	551.1296		
0.06	0.061	0.0605	506.5228	534	51
0.0585	0.058	0.05825	546.409		
Sample C					
d1	d2	dr	HV		HRC
0.052	0.0535	0.05275	666.2923		
0.053	0.053	0.053	660.0214	672	59
0.051	0.0525	0.05175	692.2915		

Keterangan :

d : diameter jejak (mm)

IV.3.2 Distribusi Kekerasan Setelah Proses Spheroidisasi Anil

Tabel 4.3. Data pengujian kekerasan sampel setelah *spherodized anneal*

sampel	d1	d2	d rata	HV	HV rata2	HRC
A	0,0865	0,0867	0,0866	247,2145	249	22
	0,0828	0,0825	0,08265	271,4089		
	0,0885	0,0912	0,08985	229,6538		
B	0,0876	0,0908	0,0892	233,0129	229	19
	0,0868	0,089	0,0879	239,9562		
	0,0939	0,0915	0,0927	215,7497		
C	0,0845	0,081	0,08275	270,7533	267	25
	0,0818	0,0844	0,0831	268,4774		
	0,084	0,0834	0,0837	264,642		

IV.3.3 Distribusi Kekerasan Setelah Proses Temper

Tabel 4.4. Data pengujian kekerasan sampel setelah *tempering*

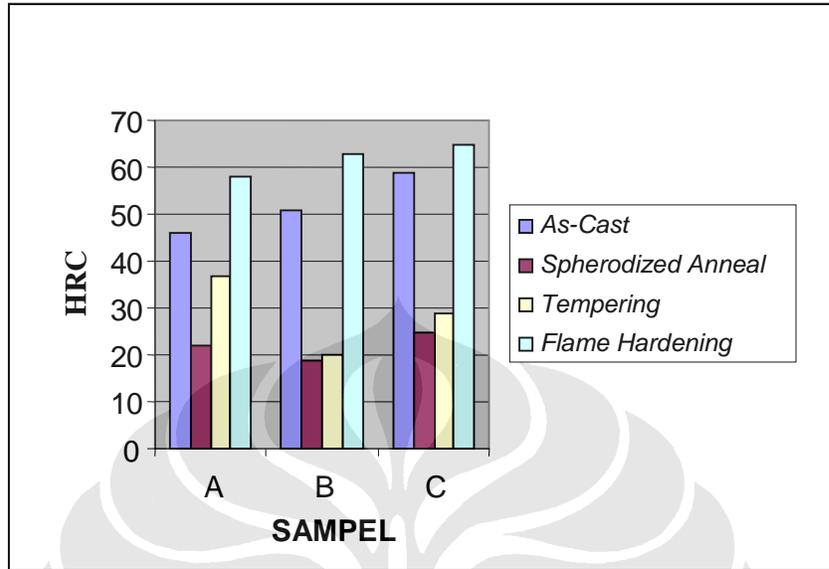
sampel	d1	d2	d rata	HV	HV rata2	HRC
A	0,0705	0,072	0,07125	365,2078	359	37
	0,0737	0,0719	0,0728	349,8219		
	0,072	0,0707	0,07135	364,1848		
B	0,093	0,0908	0,0919	219,5223	240	20
	0,0812	0,0832	0,0822	274,3886		
	0,0901	0,0903	0,0902	227,875		
C	0,0805	0,081	0,08075	284,3313	293	29
	0,078	0,074	0,076	320,9834		
	0,0835	0,0805	0,082	275,7287		

IV.3.4 Distribusi Kekerasan Setelah Proses *Flame Hardening*

Tabel 4.5. Data pengujian kekerasan sampel setelah *flame hardening*

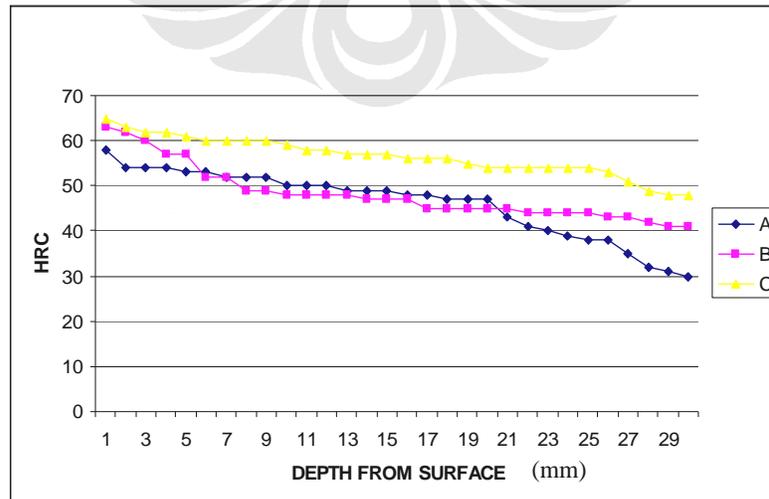
SAMPEL	HV	HRC
A	647 – 570	58 – 54
B	772 – 635	63 – 57
C	839 – 741	65 – 62

Perbandingan nilai kekerasan yang dihasilkan dari proses *As-Cast*, sferoidisasi anil, temper, dan *flame hardening* dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 perbandingan nilai kekerasan sampel setelah mengalami proses *As-Cast*, sferoidisasi anil, *tempering*, dan *flame hardening*.

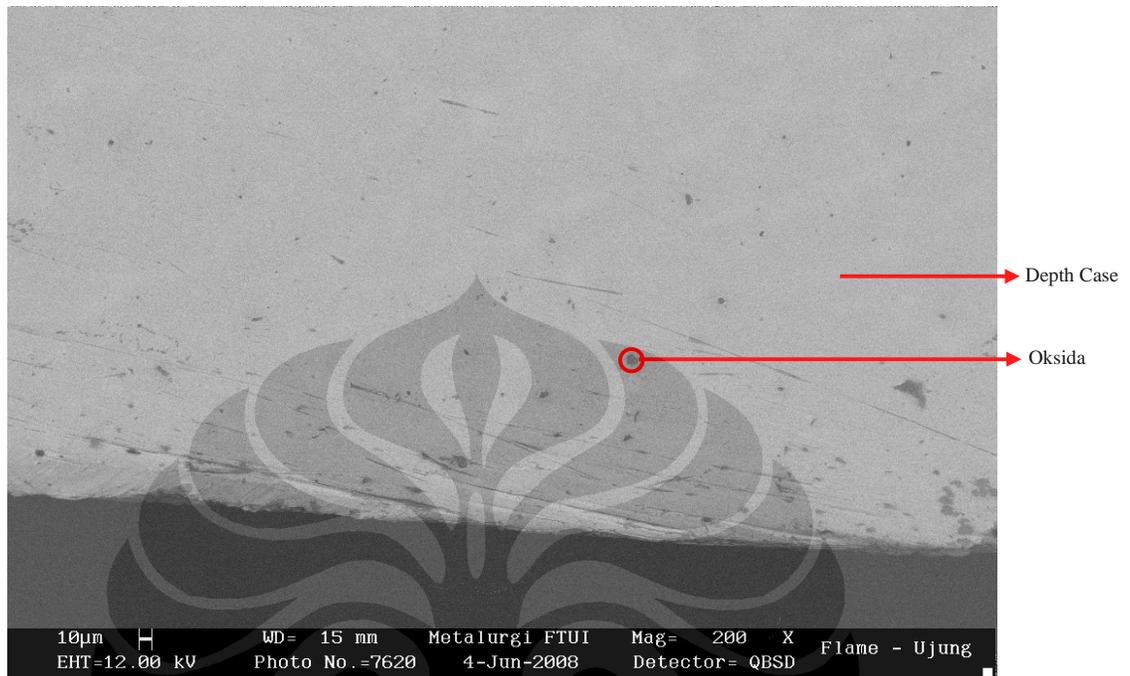
Dari hasil pengujian *flame hardening* didapatkan bahwa pada permukaan masing-masing sampel didapatkan nilai kekerasan seperti pada tabel 4.5. Kekerasan permukaan tersebut dapat dapat bertahan mencapai 54 HRC untuk sampel A, 57 HRC untuk sampel B, dan 62 HRC untuk sampel C pada kedalaman 4 mm dari permukaan. Untuk data distribusi kekerasan selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.8.



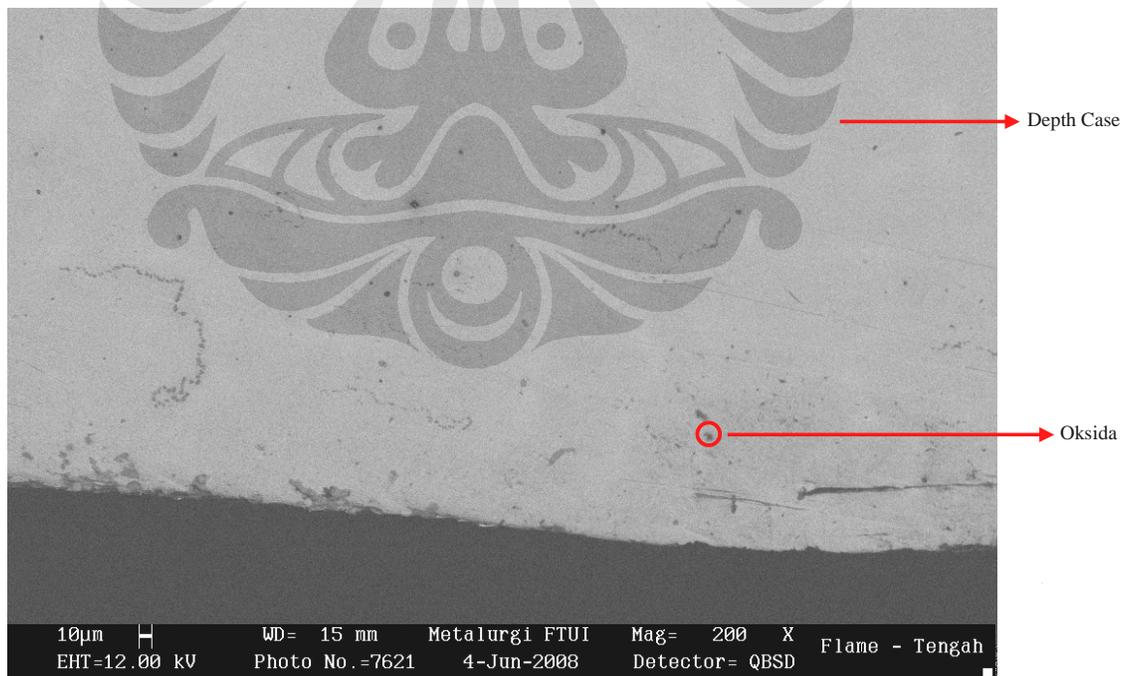
Gambar 4.8 Grafik kekerasan setelah *flame hardening*

IV.4 Hasil Foto SEM dan EDS

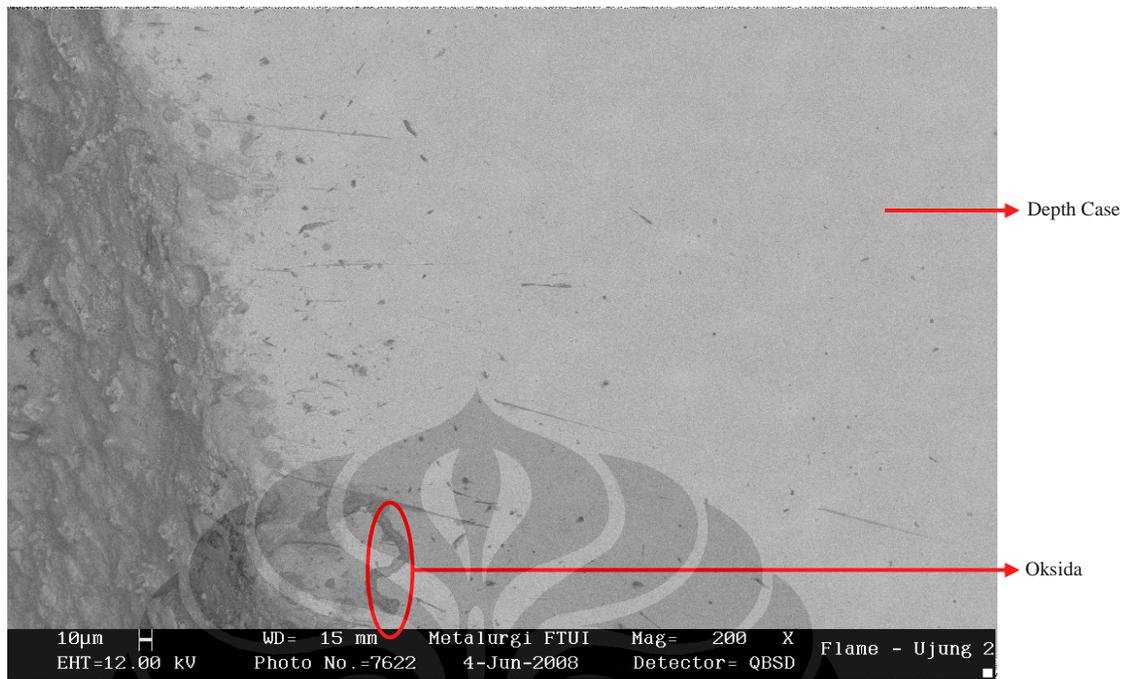
IV.4.1 Hasil foto menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*)



Gambar 4.9 Foto SEM dari sampel A, 0.884 %Si, perbesaran 200X



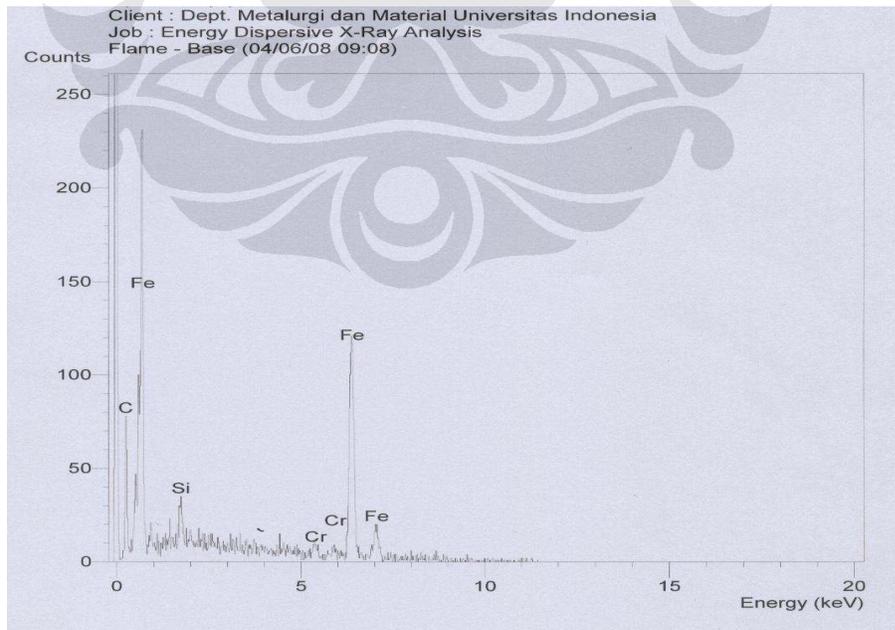
Gambar 4.10 Foto SEM dari sampel B, 2.078 %Si, perbesaran 200X



Gambar 4.11 Foto SEM dari sampel C, 3.081 %Si, perbesaran 200X

IV.4.2 Hasil uji komposisi menggunakan EDS (*Energy Disperse Spectroscopy*)

IV.4.2.1 Hasil uji komposisi *Depth Case*

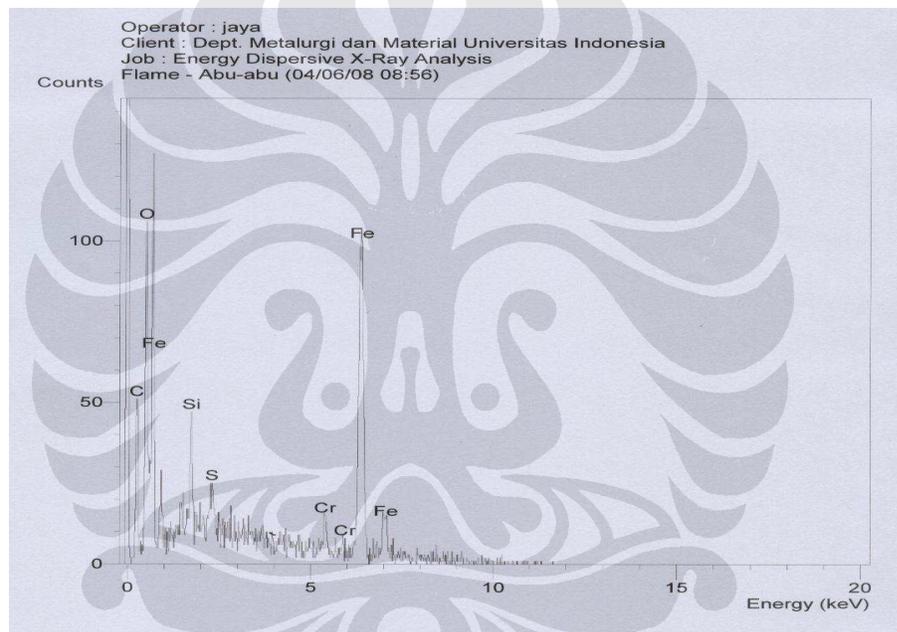


Gambar 4.12 Grafik hasil uji komposisi *depth case* dengan EDS

Tabel 4.6. Komposisi kimia *depth casel* setelah *flame hardening* dengan EDS

Komposisi (unsur)	% Kandungan		Indikasi senyawa
	Elemen	Atomik	
Karbon (C)	3.25	13.53	Cr _x C _y , Cr ₂ C ₇ , CrC, Cr ₂ C ₃ .
Oksigen (O)	-0.47*	-1.47*	
Silikon (Si)	0.97	1.72	
Vanadium (V)	1.42*	1.40*	
Kromium (Cr)	2.11	2.03	
Ferum (Fe)	92.28	82.57	
Molibdenum (Mo)	0.44*	0.23*	
Total	100.00	100.00	

IV.4.2.2 Hasil uji komposisi oksida



Gambar 4.13 Grafik hasil uji komposisi oksida dengan EDS

Tabel 4.7. Komposisi kimia oksida setelah *flame hardening* dengan EDS

Komposisi (unsur)	% Kandungan		Indikasi senyawa
	Elemen	Atomik	
Karbon (C)	4.06	14.64	SiO ₂ , FeO
Oksigen (O)	4.62	12.52	
Silikon (Si)	1.33	2.05	
Sulfur (S)	1.28	1.73	
Kromium (Cr)	3.86	3.22	
Ferum (Fe)	84.86	65.85	
Total	100.00	100.00	

BAB V

PEMBAHASAN

V.1 Persiapan Awal

Baja perkakas ini dibuat dengan proses pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir. Material hasil proses pengecoran tersebut dibuat dalam bentuk sampel uji tarik. Komposisi kimia hasil analisa spektrometer yang menunjukkan jumlah kandungan silikon yang berbeda, membagi material menjadi tiga jenis, yaitu A (0.884 %Si), B (2.078 %Si), dan C (3.081 %Si).

Baja perkakas yang dihasilkan dari proses pengecoran kemudian mengalami berbagai proses perlakuan panas seperti sferoidisasi anil, dan temper, serta terakhir mengalami proses pengerasan permukaan menggunakan metode *flame hardening*

V.2 Karakteristik Sampel Hasil Proses Sferoidisasi anil dan Temper

Hasil pengamatan foto mikro sampel baja perkakas yang mengalami proses sferoidisasi anil menunjukkan struktur yang halus dengan ujung-ujung yang berbentuk bulat (*spheroid*). Dengan bentuk struktur yang demikian, menyebabkan menurunnya kekerasan dari baja perkakas tersebut. Perbandingan tingkat kekerasan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.7.

Proses temper yang diberikan pada baja perkakas yang telah mengalami proses sferoidisasi anil ternyata meningkatkan kembali kekerasan dari material tersebut. Pada pengamatan foto mikro menunjukkan bahwa struktur yang diperlihatkan dalam sampel setelah proses tempering lebih merata dan halus. Tingkat homogenitas dari struktur tersebut sangat baik dan dapat dilihat pada gambar 4.2.

V.3 Karakteristik Sampel Yang Mengalami Pengerasan Permukaan

Dalam penelitian ini digunakan sampel baja tuang perkakas yang komposisinya mengacu pada material JIS SKD 11 yang dikeraskan permukaannya dengan metode *flame hardening*. Tujuan dari proses pengerasan permukaan dengan metode *flame hardening* ini adalah untuk memperoleh karakteristik

permukaan dari baja tuang perkakas yang dikeraskan, dimana persyaratan yang ingin dicapai untuk kekerasan permukaannya adalah dalam rentang 60-65 HRC. Karakteristik ini sangat dipengaruhi oleh kondisi-kondisi selama proses, yaitu temperatur dan distribusi pemanasan, serta kecepatan pendinginan.

Hasil evaluasi diperoleh berdasarkan catatan kondisi fisik yang teramati selama proses, antara lain:

- ❖ Temperatur pemanasan dan pendinginan
- ❖ Transformasi struktur mikro
- ❖ Distribusi kekerasan

Berdasarkan kondisi-kondisi diatas, diharapkan dapat diperoleh gambaran secara umum tentang kualitas material baja tuang perkakas yang telah mengalami proses sedemikian rupa sehingga diharapkan nantinya dapat digunakan sebagai referensi dalam pembuatan suatu material untuk cetakan.

V.3.1 Temperatur dan Distribusi Pemanasan

Temperatur permukaan harus mencapai temperatur pembentukan austenit, yaitu sekitar 750-850°C untuk baja dengan kandungan karbon 0.5%, dimana pada permukaan pada temperatur tersebut mulai terbentuk inti-inti austenit. Jumlah austenit yang terbentuk merupakan fungsi dari waktu austenisasi.[9] Semakin cepat transfer panas pada permukaan akan semakin memperbesar kemungkinan terbentuknya inti-inti austenit. Dengan demikian, proses pengerasan akan terjadi lebih efektif jika dapat dicapai kecepatan pemanasan yang tinggi dan distribusi pemanasan yang merata.

Temperatur pemanasan yang diperoleh pada saat proses *flame hardening* merupakan temperatur referensi yang mewakili temperatur permukaan, yang diukur pada permukaan sampel.

Dari hasil penelitian diperoleh temperatur pemanasan *flame hardening* berkisar antara 790-850°C yang dicapai dalam waktu 35 detik. Setelah itu temperatur dipertahankan selama 1-2 menit agar diperoleh distribusi pemanasan yang merata.

Pembentukan inti-inti austenit juga dipengaruhi oleh kecepatan difusi karbon ke dalam fasa austenit. Pada struktur awal yang dominan terdiri atas ferit

dan sementit dalam bentuk partikel *spheroid*, austenit terbentuk pertama kali pada batas antarmuka antara karbida dan ferit. Secara teoritis, partikel *spheroid* dalam matriks ferit mampu mempercepat pembentukan austenit hingga persen volume 78% dalam waktu 50 detik pada pemanasan *isothermal*. [9] Hal ini dipengaruhi oleh kemampuan karbon dalam partikel *spheroid* untuk lebih cepat larut.

Pada sampel baja tuang perkakas yang telah diberikan perlakuan spheroidisasi anil diharapkan berlaku hal yang sama dengan teori. Hal yang persis sama dengan teori tidak akan mungkin terjadi karena akan terdapat beberapa faktor yang mempengaruhinya, seperti distribusi pemanasan yang tidak merata (*non-isothermal*). Ini dapat diamati dari kecepatan pemanasan yang cukup tinggi, dimana karbida dalam bentuk *spheroid* hanya membutuhkan energi permukaan yang cukup rendah untuk berdifusi ke luar struktur.

V.3.2 Kecepatan Pendinginan

Kecepatan pendinginan sangat mempengaruhi struktur mikro yang akan terbentuk, terutama dalam pembentukan struktur martensit. Kecepatan pendinginan kritis, dimana merupakan pendinginan minimum yang harus dicapai untuk memperoleh 100% martensit, sangat dipengaruhi oleh pemilihan media *quench* dan proses lainnya.

Media pendinginan yang digunakan adalah air. Hal ini bertujuan untuk memperoleh kecepatan pendinginan yang drastis sehingga kemungkinan fasa martensit yang diinginkan semakin besar terjadi. Selain itu, kecepatan pendinginan yang drastis dapat menyebabkan atom-atom karbon yang ingin berdifusi keluar segera terperangkap dan berkumpul dipermukaan. Hal inilah yang menjadi salah satu faktor pembentuk kekerasan pada permukaan sampel.

Namun kecepatan pendinginan yang tinggi juga memiliki kelemahan yang fatal. Akibat kecepatan pendinginan yang terlalu tinggi, dapat menyebabkan terjadinya retak yang mungkin diakibatkan oleh adanya tegangan sisa.

V.3.3 Transformasi Struktur Mikro dan Distribusi Kekerasan

Hasil foto struktur mikro pada bagian permukaan dari semua jenis sampel baja tuang perkakas yang diamati menunjukkan pembentukan struktur-struktur

martensit yang halus dan merata pada setiap bagian yang diamati. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi pemanasan yang dicapai sesuai dengan tujuan yang diharapkan (mencapai nilai kekerasan yang dipersyaratkan untuk material cetakan atau *mould*)[12].

Nilai kekerasan yang dicapai pada bagian permukaan sampel A yaitu sebesar 58 HRC, sampel B yaitu sebesar 63 HRC, dan sampel C yaitu sebesar 65 HRC. Dilihat dari nilai kekerasan yang dicapai, berarti pengujian yang dilakukan sudah mencapai dari tujuan yang diharapkan pada sampel B, dan C. Namun pada sampel A masih kurang dari target nilai kekerasan yang ingin dicapai. Jika dibandingkan dengan kekerasan sampel awal pada waktu *as-cast*, yaitu 46 HRC pada sampel A, 51 HRC pada sampel B, dan 59 HRC pada sampel C, memang dari ketiga jenis sampel yang diuji mengalami peningkatan nilai kekerasan yang cukup tinggi.

Jika dilihat dari fasa martensit yang terbentuk pada ketiga sampel, pada sampel C dengan kadar silikon tertinggi memiliki jumlah martensit yang lebih banyak serta lebih halus dari pada kedua sampel yang lainnya. Begitu juga dengan sampel B, memiliki kandungan martensit lebih banyak serta lebih halus dari pada sampel A. Bila dihubungkan antara fasa yang terbentuk dengan kekerasan yang dicapai, wajar jika sampel C memiliki tingkat kekerasan paling tinggi dari sampel yang lainnya.

Jika kadar karbon pada ketiga jenis sampel relatif sama dan perlakuan yang diberikan kesemuanya juga sama, hal ini menunjukkan bahwa satu-satunya yang menyebabkan perbedaan yang signifikan dari semua sampel adalah kandungan kadar Silikonnya.

Pada bagian sampel yang diperkirakan masih terkena efek dari *flame hardening*, juga terdapat fasa martensit yang berbentuk halus tapi tidak sehalus dibagian permukaan. Pengambilan foto mikro pada bagian ini diambil dari jarak 4 mm dari permukaan sampel yang telah dikeraskan dengan *flame hardening*. Dilihat dari hasil distribusi kekerasan yang dicapai, tingkat kekerasan dapat bertahan hingga 54 HRC pada sampel A, 57 HRC pada sampel B, dan 62 HRC pada sampel C pada kedalaman 4 mm dari permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi kekerasan yang dicapai cukup baik.

Pada bagian yang diperkirakan sama sekali tidak terkena efek *flame hardening*, foto mikrostruktur yang diperoleh menunjukkan adanya 2 fasa yang terbentuk, yaitu sebagian kecil martensit, dan sebagian besar bainit.

Selain beberapa fasa yang terlihat pada hasil foto mikro seperti martensit dan bainit, juga dapat diketahui bahwa terdapat mikro *crack* pada salah satu sampel yang mengalami proses *flame hardening*. Hal ini dimungkinkan karena pengaruh dari proses pendinginan cepat atau quench yang terlalu cepat. Karena media yang digunakan adalah air, diperkirakan terjadi *thermal shock* yang mengakibatkan timbulnya retak pada salah satu sampel.

V.4 Analisa Hasil Uji SEM dan EDS

Sebelum melakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) diperkirakan bahwa akan terbentuk endapan karbida SiC (*Silicon Carbide*) pada permukaan sampel setelah *flame hardening*. Jadi, pada hipotesa awal, selain karena fasa martensit yang membuat kerasnya permukaan baja tuang perkakas, terdapat juga endapan SiC pada permukaan sampel baja tuang perkakas yang dikeraskan tersebut.

Setelah pengujian SEM dilakukan, ternyata tidak ada sama sekali endapan silikon yang berupa SiC pada permukaan semua sampel ditemukan, meskipun setelah dilakukan pengecekan komposisi menunjukkan terdapat kandungan silikon (Si) dengan kadar jumlah kandungan yang relatif sama dengan kondisi sampel *as-cast*.

Pengujian komposisi dilakukan pada dua titik (*spot*) yang berbeda, yaitu pada *base metal*, dan pada sebuah titik yang berwarna abu-abu yang diperkirakan adalah oksida.

Hasil pengujian EDS (*Energy Disperse Spectroscopy*) pada *base metal* menunjukkan adanya unsur-unsur Fe, C, Cr, Si. Kandungan karbon yang terdeteksi sangat besar sekali yaitu sebesar 13.53 wt%. Persentase tersebut diperkirakan merupakan suatu unsur yang berikatan dengan atom karbon membentuk senyawa karbida yang diindikasikan sebagai senyawa CrC, Cr₂C₇, atau Cr₂C₃. Bisa saja persentase itu merupakan senyawa karbida SiC, tetapi bila dilihat dari kadar silikon yang hanya sedikit kemudian ditambah hasil foto SEM

yang menunjukkan tidak adanya endapan pada permukaan baja tuang perkakas setelah mengalami proses *flame hardening*, semakin menunjukkan bahwa senyawa tersebut bukan karbida SiC. Selain itu, dilihat dari segi ikatan antar atom antara silikon dengan karbon dan krom dengan karbon, maka atom karbon akan cenderung berikatan dengan atom krom membentuk senyawa karbida Cr_xC_y , dalam bentuk CrC, Cr_2C_7 , Cr_2C_3 .

Titik kedua pada foto hasil SEM yang berbentuk seperti titik berwarna abu-abu adalah sebuah oksida. Hal ini dapat diketahui pada pengecekan hasil uji komposisi dengan menggunakan EDS. Dari hasil pengujian komposisi terdapat kadar oksigen yang sangat besar yaitu 12.52 wt%. Dalam suatu material baja tuang perkakas, biasanya tidaklah mungkin terdapat kandungan oksigen, apalagi dalam jumlah yang besar. Jadi, dapat disimpulkan bahwa titik atau *spot* yang kedua dari hasil pengujian SEM dan EDS merupakan suatu senyawa oksida. Indikasi senyawa-senyawa yang dapat terbentuk dalam oksida tersebut dapat berupa SiO_2 , dan FeO.