

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN

#### 4.1. Pengujian Komposisi Kimia

Untuk mengetahui komposisi kimia dari sampel yang dibuat dengan uji *spectro* dihasilkan komposisi seperti berikut :

**Tabel 4.1.** Komposisi Kimia Sampel dengan *Spectro*

No.	Alloy	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %
1	A	0,546	0,884	1,077	0,0162	0,0071	1,581	0,4206
2	B	0,502	2,078	1,015	0,0163	0,0119	1,563	0,4464
3	C	0,4857	3,081	1,001	0,0165	0,0134	1,548	0,4267
4	D	0,563	0,52	0,604	0,0179	0,0157	1,603	0,465
5	E	0,505	0,624	0,695	0,0165	0,0101	1,614	0,3102

No.	Alloy	Ni %	Al %	Co %	Cu %	Nb %	Ti %	V %
1	A	0,1941	0,02	0,0042	0,84	0,0026	0,0036	0,1239
2	B	0,1866	0,1018	0,0039	0,812	0,0023	0,0047	0,1257
3	C	0,1769	0,1065	0,0035	0,726	0,0022	0,0057	0,1201
4	D	0,0597	0,0214	0,0038	0,697	0,0021	0,0021	0,131
5	E	0,0536	0,0046	0,0045	0,0199	0,0043	0,0023	0,009

No.	Alloy	W %	Pb %	Sn %	As %	Ca %	Ce %	Se %
1	A	<0,03	0,0047	0,0005	0,0027	0,0039	<0,004	<0,007
2	B	<0,04	0,0019	0,0005	0,0025	>0,0072	<0,005	<0,008
3	C	<0,05	0,0013	0,0009	0,0025	>0,0072	<0,006	<0,009
4	D	<0,02	0,0034	<0,0004	0,0032	0,0003	<0,003	<0,006
5	E	<0,01	<0,001	0,0004	0,0029	0,0017	<0,002	<0,005

No.	Alloy	Ta %	B %	N %	Fe %
3	A	0,0127	0,0013	0,0023	94,3
4	B	0,0126	0,0012	0,0028	93,1
5	C	0,0113	0,002	0,0008	92,3
2	D	0,0145	0,0012	0,0059	95,3
1	E	0,0112	0,0011	0,0043	96,1

## 4.2. Pengujian Kekerasan

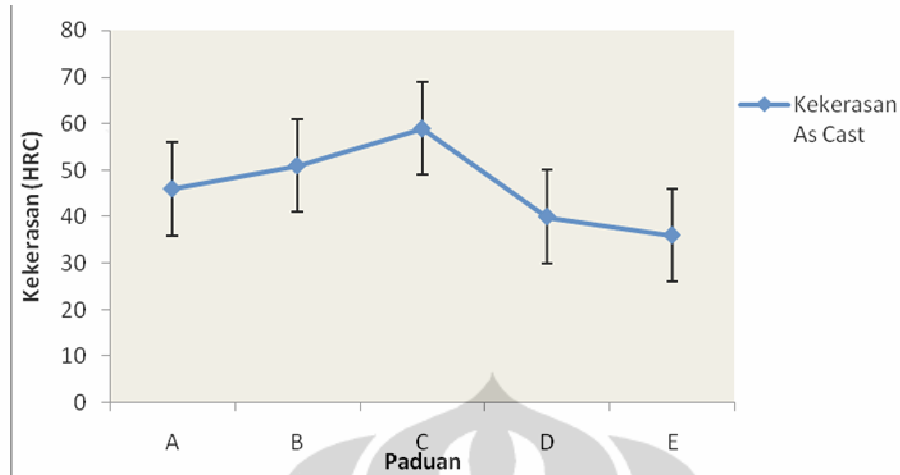
Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers* dimana indentornya berbentuk piramida dengan menggunakan beban 1000 kgf. Setelah itu diukur diagonal 1 dan diagonal 2 jejak daripada indentor dengan mikroskop optik. Penjejakkan dilakukan 3 kali pada setiap sampel yang berbeda. Setelah didapat HV kemudian dikonversikan kedalam HRC.

### 4.2.1. Hasil Pengujian Kekerasan *As Cast*

Tabel 4.2. Data Kekerasan *As Cast*

Sampel	d1	d2	d rata	HV	HV rata2	HRC
A	0,0615	0,0625	0,062	482,3101	459	46
	0,0645	0,0645	0,0645	445,6463		
	0,066	0,0625	0,06425	449,1211		
B	0,06	0,056	0,058	551,1296	535	51
	0,06	0,061	0,0605	506,5228		
	0,0585	0,058	0,05825	546,409		
C	0,052	0,0535	0,05275	666,2923	673	59
	0,053	0,053	0,053	660,0214		
	0,051	0,0525	0,05175	692,2915		
D	0,069	0,069	0,069	389,414	389	40
	0,069	0,069	0,069	389,414		
	0,069	0,069	0,069	389,414		
E	0,073	0,073	0,073	347,9077	351	36
	0,071	0,075	0,073	347,9077		
	0,072	0,072	0,072	357,6389		

Hubungan kekerasan terhadap variabel paduan dapat dilihat pada grafik dibawah ini. Dimana gambar 4.1 merupakan grafik perbandingan nilai kekerasan untuk setiap paduan sebelum perlakuan.



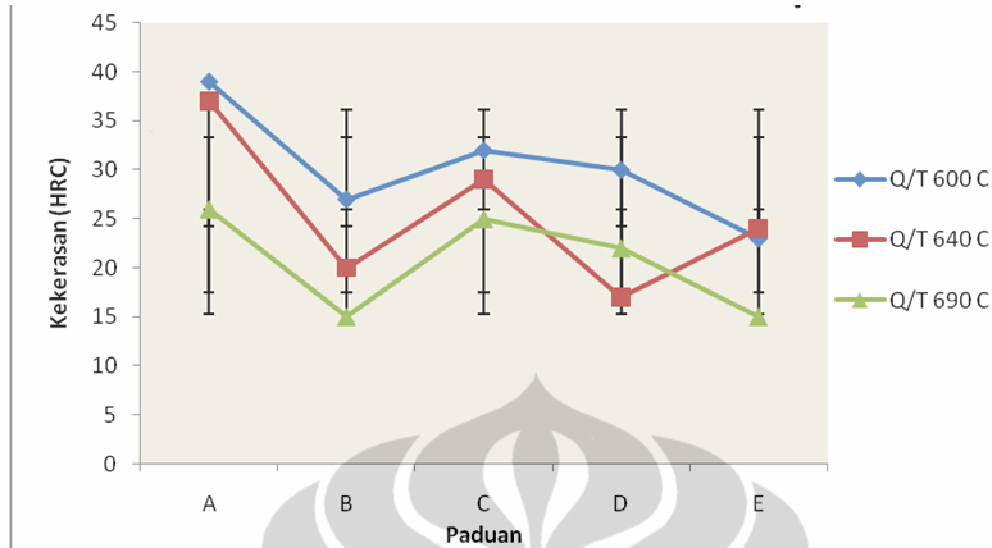
**Gambar 4.1.** Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan *As Cast*

#### 4.2.2. Hasil Pengujian Kekerasan Perlakuan *Quench Temper*

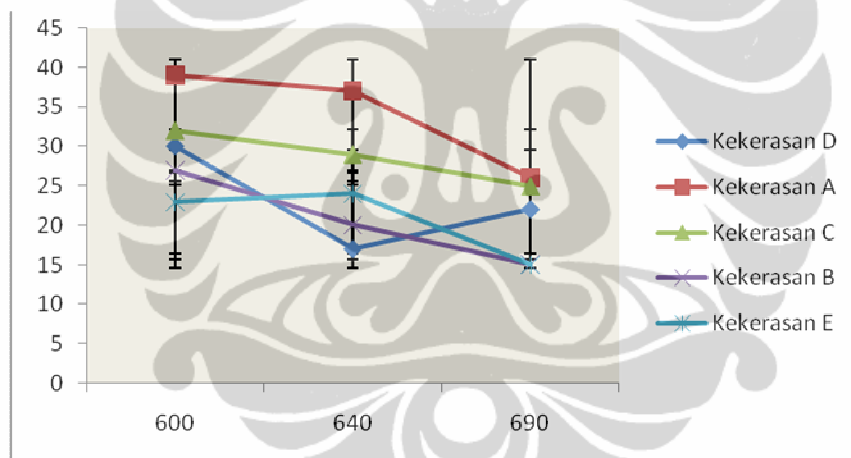
**Tabel 4.3.** Data Kekerasan Perlakuan *Quench Temper*

Temperatur Temper	Sampel	Kekerasan (HV)	Kekerasan (HRC)
600°C	A	382	39
	B	271	27
	C	318	32
	D	303	30
	E	256	23
640°C	A	360	37
	B	241	20
	C	294	29
	D	226	17
	E	262	24
690°C	A	276	26
	B	219	15
	C	270	25
	D	249	22
	E	220	15

Hubungan kekerasan terhadap variabel paduan dapat dilihat pada grafik dibawah ini. Dimana gambar 4.2. merupakan grafik perbandingan nilai kekerasan untuk setiap paduan pada perlakuan quench temper dengan temperatur temper 600°C, 640°C, dan 690°C



**Gambar 4.2.** Perbandingan Nilai Kekerasan Perlakuan *Quench Temper*



**Gambar 4.3.** Grafik Perbandingan Nilai Kekersan Setiap Paduan Berdasarkan Perlakuan *Quench Temper*.

Tabel 4.4. Data uji kekerasan material *Quench Temper Weldability 640°C*

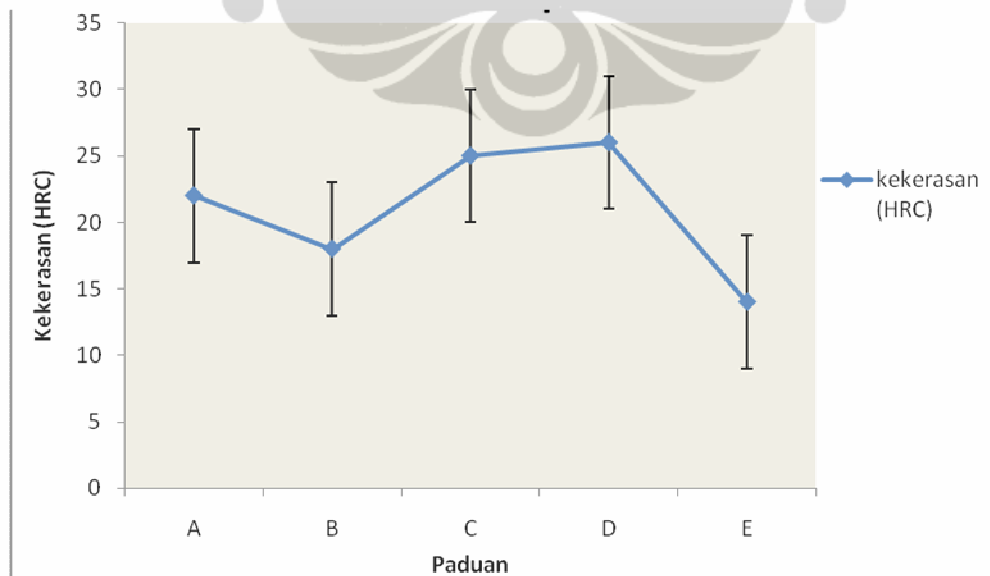
Kode Sampel Sample Code	Penjejakan Indentation	Kekerasan Vickers (HV) Vickers Hardness (HV)	Rata-rata HV Average	Keterangan Remarks
Base Metal	I	218	215	Beban penjejakan =300 gr
	II	208		
	III	218		
HAZ	I	406	396	
	II	401		
	III	380		
Las	I	511	501	
	II	511		
	III	481		

#### 4.2.3. Hasil Pengujian Kekerasan *Spheroidized Anneal*

Tabel 4.4. Data Kekerasan *Spheroidized Anneal*

Sampel		Kekerasan (HV)	Kekerasan (HRC)
SA	A	249	22
	B	230	18
	C	268	25
	D	275	26
	E	212	14

Hubungan kekerasan terhadap variabel paduan dapat dilihat pada grafik dibawah ini. Dimana gambar 4.4. merupakan grafik perbandingan nilai kekerasan untuk setiap paduan pada perlakuan *Spheroidized Anneal*



**Gambar 4.4.** Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Perlakuan *Spheroidized Anneal*

#### 4.3. Pengujian Aus

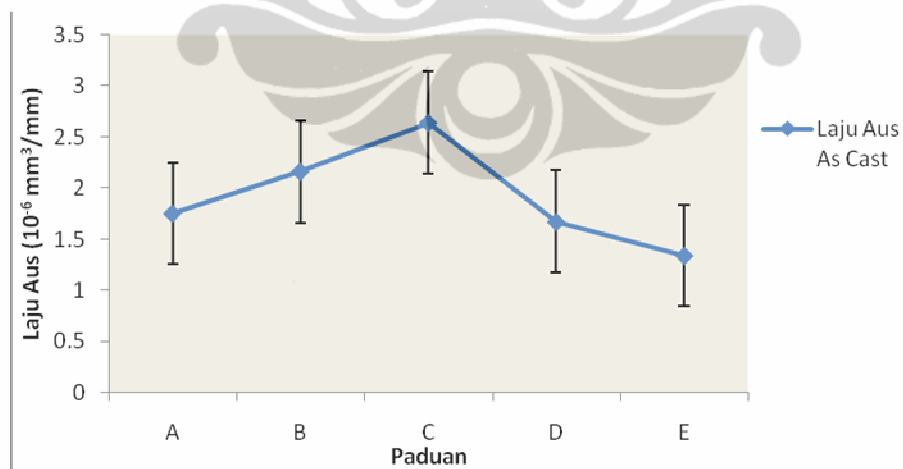
Pengujian laju aus dilakukan untuk sampel dengan perlakuan Q/T dan *Spheroidized Anneal*. Untuk setiap sampel dilakukan 3 kali pengujian laju aus, dimana masing-masing sampel dilakukan pengujian aus dengan metode *Ogoshi* pada salah satu bagian permukaannya. Sebelumnya dilakukan pengujian, sampel terlebih dahulu dilakukan preparasi dengan cara diampelas untuk menghilangkan lapisan oksida yang terdapat di permukaan sampel.

##### 4.3.1. Hasil Pengujian Laju Aus *As Cast*

Nilai laju aus dan volume terabrasi untuk sampel *As Cast* sebelum perlakuan dapat dilihat pada tabel 4.4. Grafik yang menyatakan hubungan antara paduan yang berbeda terhadap nilai laju aus dapat dilihat pada gambar 4.8.

**Tabel 4.4.** Data Hasil Pengujian Laju Aus *As Cast*

Sampel	Laju Aus rata-rata ( x 10 <sup>-6</sup> mm <sup>3</sup> /mm)
A	1,8
B	2,2
C	2,6
D	1,7
E	1,3



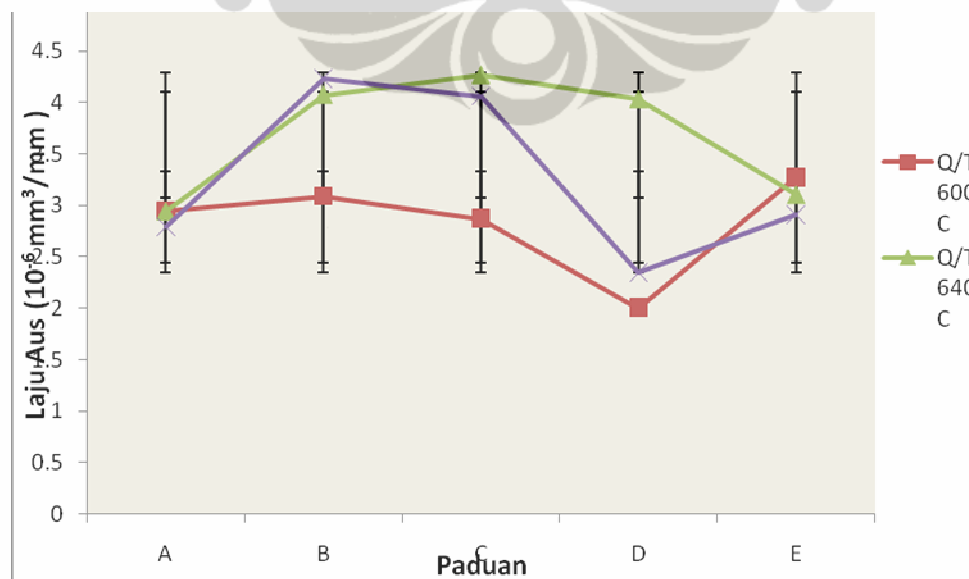
**Gambar 4.5.** Grafik Perbandingan Nilai Laju Aus *As Cast*

### 4.3.2. Hasil Pengujian Laju Aus Perlakuan *Quench Temper*

Nilai laju aus dan volume terabrasi untuk sampel dengan perlakuan *quench temper* pada temperatur temper 600°C, 640°C, dan 690°C dapat dilihat pada tabel 4.5. Grafik yang menyatakan hubungan antara paduan yang berbeda terhadap nilai laju aus dapat dilihat pada gambar 4.6.

**Tabel 4.5.** Data Laju Aus Perlakuan *Quench Temper*

Temperatur Temper	Sampel	Laju Aus x10 <sup>-6</sup> (mm <sup>3</sup> /mm)
600°C	A	3,0
	B	3,0
	C	2,9
	D	2,0
	E	3,3
640°C	A	3,0
	B	4,1
	C	4,3
	D	4,0
	E	3,1
690°C	A	2,8
	B	4,2
	C	4,1
	D	2,4
	E	3,0



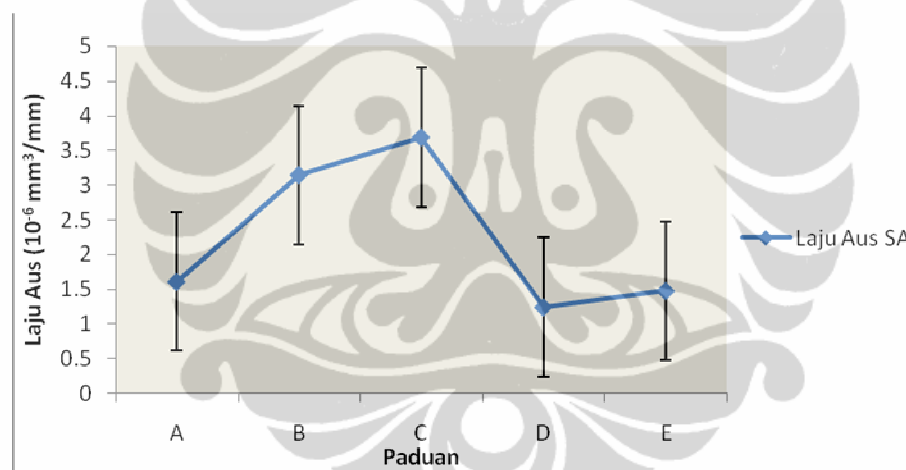
**Gambar 4.6.** Grafik Perbandingan Nilai Laju Aus Perlakuan *Quench Temper*

### 4.3.3. Hasil Pengujian Laju Aus Perlakuan *Spheroidized Anneal*

Nilai laju aus dan volume terabrasi untuk sampel *spheroidized anneal* dapat dilihat pada tabel 4.6. Grafik yang menyatakan hubungan antara paduan yang berbeda terhadap nilai laju aus dapat dilihat pada gambar 4.7.

**Tabel 4.6.** Data Laju Aus *Spheroidized Anneal*

Sampel	Laju Aus rata-rata ( x 10 <sup>-6</sup> mm <sup>3</sup> /mm)
A	1,6
B	3,1
C	3,7
D	1,3
E	1,5



**Gambar 4.7.** Grafik Perbandingan Nilai Laju Aus *Spheroidized Anneal*

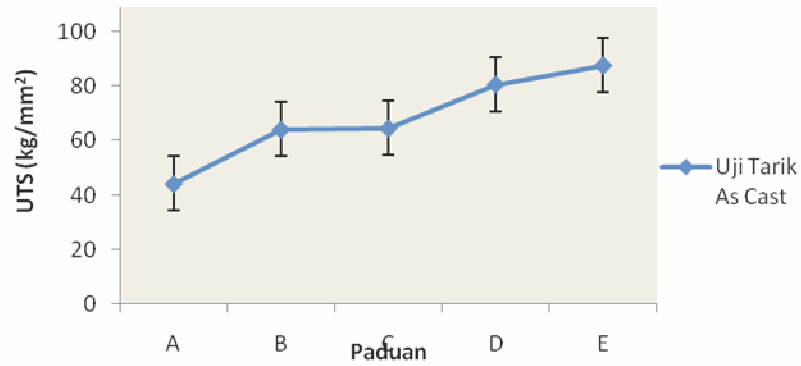
## 4.4. Pengujian Tarik

### 4.4.1. Data Pengujian Tarik *As Cast*

**Tabel 4.7.** Data Uji Tarik *As Cast*

Paduan	UTS (kg/mm <sup>2</sup> )
A	44
B	64
C	65
D	81
E	88



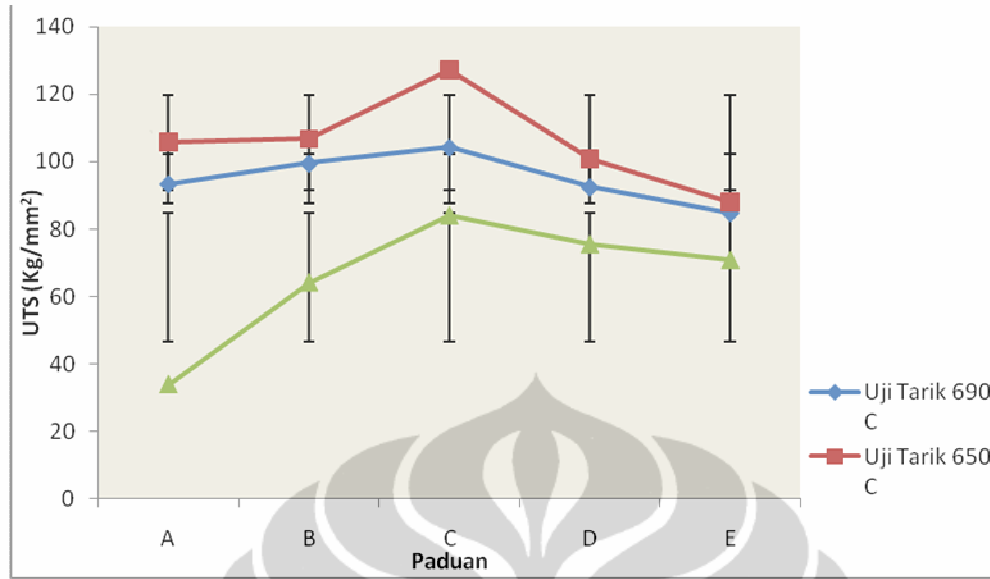


**Gambar 4.8.** Grafik Perbandingan Nilai UTS *As Cast*

#### 4.4.2. Data Pengujian Tarik Perlakuan *Quench Temper*

**Tabel 4.8.** Data Uji Tarik Perlakuan *Quench Temper*

Temperatur Temper	Sampel	UTS (kg/mm <sup>2</sup> )
600°C	A	34
	B	64
	C	84
	D	75
	E	70
640°C	A	106
	B	107
	C	127
	D	101
	E	80
690°C	A	93
	B	100
	C	104
	D	93
	E	85



**Gambar 4.9.** Grafik Nilai Perbandingan Nilai UTS Perlakuan *Quench Temper*

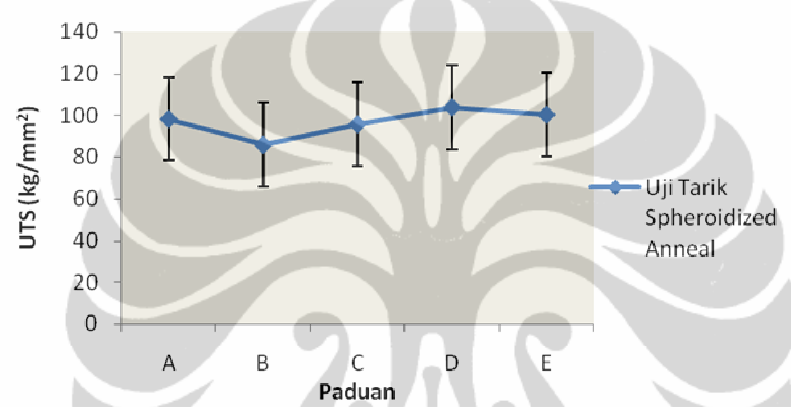
#### 4.4.3. Data Pengujian Tarik *Spheroidized Anneal*

**Tabel 4.9.** Data Uji Tarik *Spheroidized Anneal*

Paduan	UTS (kg/mm <sup>2</sup> )
A	98
B	86
C	96
D	104
E	100

Tabel.4.10. Data Uji Tarik *Spheroidized Anneal Weldability*

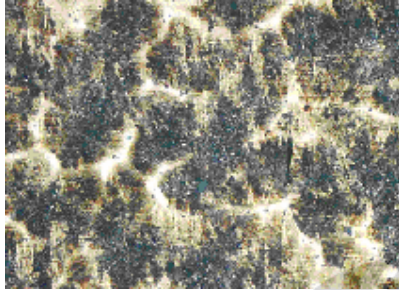
Code	SAMPSEL			Kuat tarik Tensile stress (Kg/mm <sup>2</sup> )	Batas luluh Yield stress (Kg/mm <sup>2</sup> )	Regangan Elongation (%)	Keterangan Remarks
	Cross section (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Gauge length (mm)				
SA – SE ESA	12.30	118.82	-	27	-	-	Putus di las
ASA – SS	12.40	120.76	-	-	-	-	Tidak dapat data
B. SA – SB	12.40	120.76	-	25	-	-	Putus di las
A – A	12.80	128.67	-	-	-	-	Tidak dapat data
F – F	12.80	128.67	-	-	-	-	Tidak dapat data

Gambar 4.10. Grafik Perbandingan Nilai UTS Perlakuan *Spheroidized Anneal*

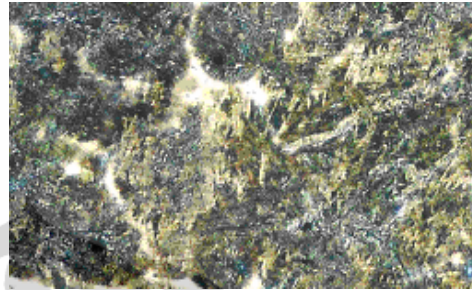
#### 4.5. Pengujian Foto Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk sample paduan untuk setiap komposisi yang berbeda serta perlakuan panas yang berbeda yaitu dengan perlakuan quench/ temper dengan temperature tempering 600<sup>o</sup>C, 640<sup>o</sup>C, dan 690<sup>o</sup>C, serta perlakuan spheroidized anneal . Pengamatan dilakukan dengan Mikroskop Optik (MO). Pengamatan dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDS (*Energy Dispersion Spectroscopy*) dilakukan hanya pada paduan C dengan perlakuan panas quench temper 640<sup>o</sup>C. Pengamatan dengan EDS dilakukan untuk mengetahui karbida yang terbentuk

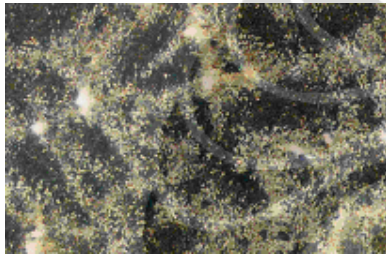
**4.5.1. Hasil Foto Struktur Mikro dengan Menggunakan Mikroskop Optik  
( Skala Resolusi  $10\mu\text{m}$  )**



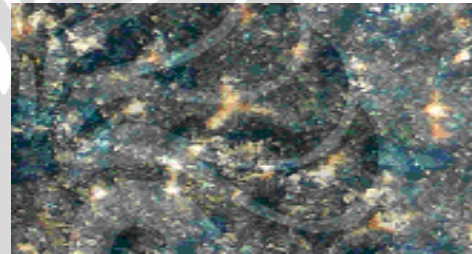
**Gambar 4.11. A . *As Cast* 100X**



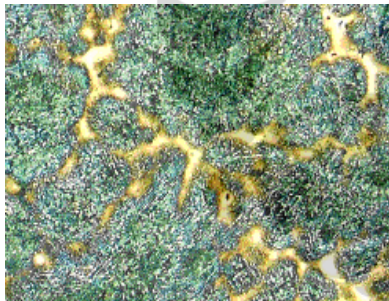
**Gambar 4.12. B. *As – Cast* 100X**



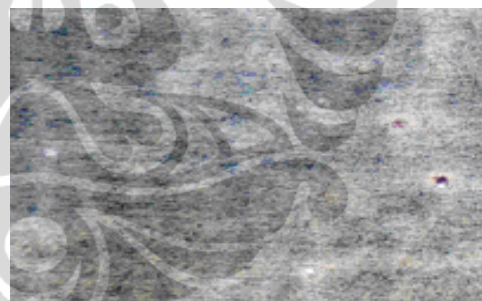
**Gambar 4.13. C. *As Cast* 100X**



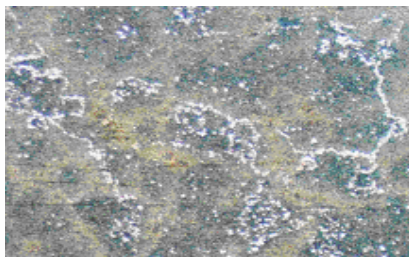
**Gambar 4.14.D.*As-Cast* 100X**



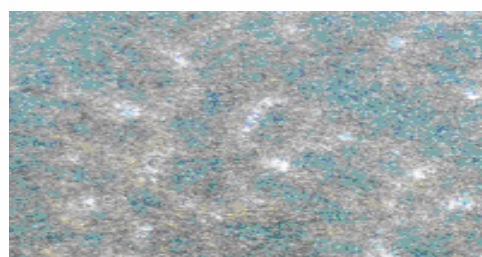
**Gambar. 4.15.E.*As-Cast* 100X**



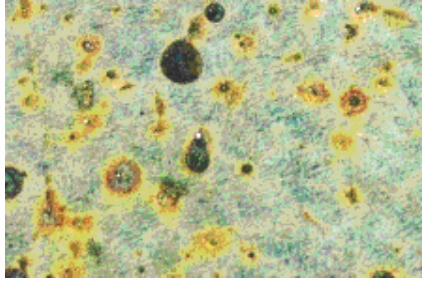
**Gambar 4.16.A. *Temper 600°C.* 100X.**



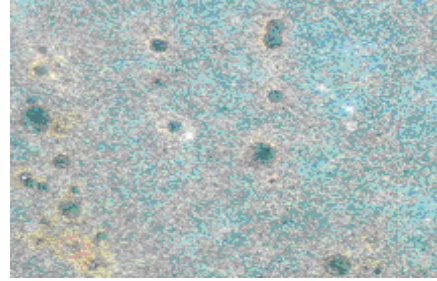
**Gambar.4.17. A. *Temper 640°C.* 100X.**



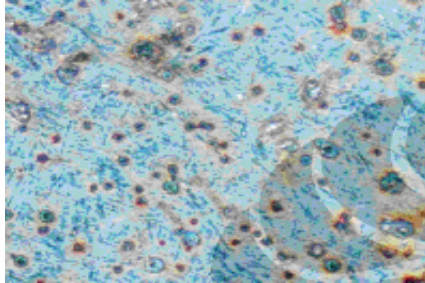
**Gambar. 4.18. A. *Temper 690°C.*100X.**



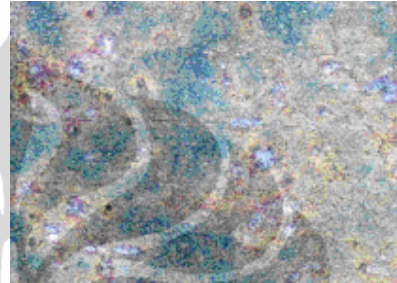
Gambar.4.19.B. *Temper* 600°C. 100X.



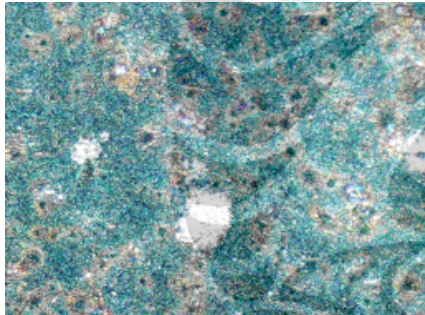
Gambar.4.20.B. *Temper* 690°C.100X.



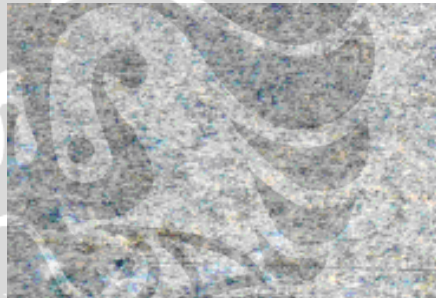
Gambar.4.21.C. *Tempering* 600°C.100X



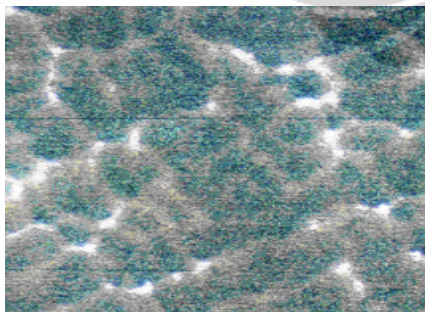
Gambar.4.22.C. *Tempering* 640°C.100X



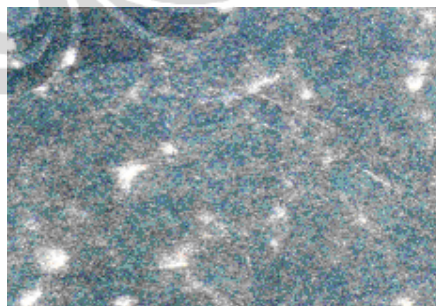
Gambar.4.23.C. *Tempering* 690°C.100X.



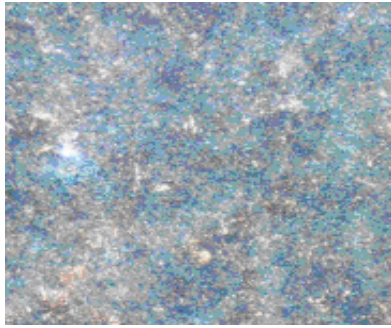
Gambar.4.24.D. *Tempering* 600°C.100X.



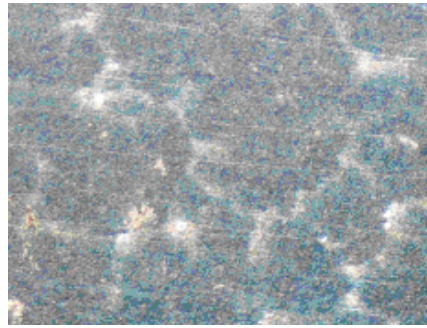
Gambar.4.25.D. *Tempering* 640°C.100X.



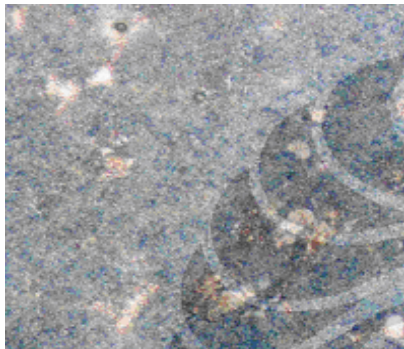
Gambar.4.26.D. *Tempering* 690°C.100X.



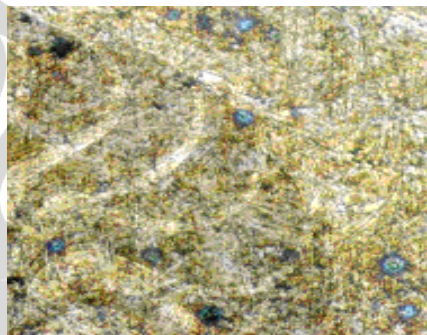
Gambar 4.27.E. *Temper* 600°C.100X.



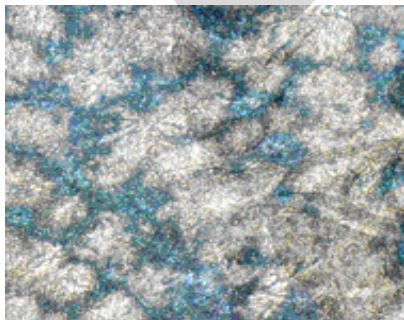
Gambar.4.28.E. *Temper* 640°C.100X.



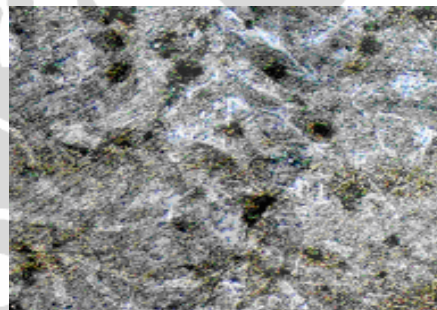
Gambar.4.29.E. *Temper* 690°C.100X.



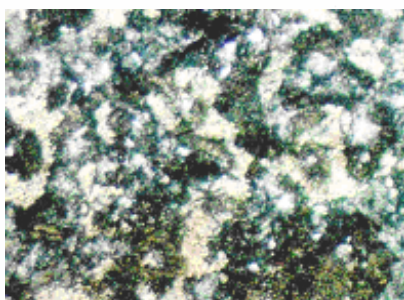
Gambar 4.30.A. *SA*.810°C.100X.



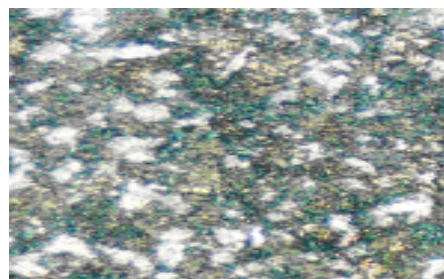
Gambar 4.31.B. *SA*.810°C.100X.



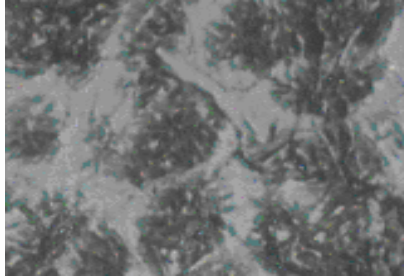
Gambar.4.32.C. *SA*.810°C.100X.



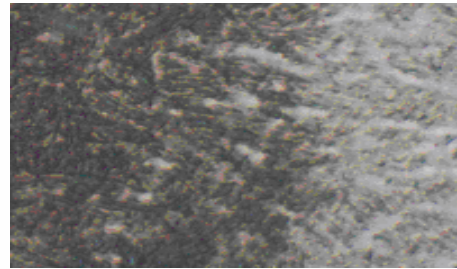
Gambar.4.33.D. *SA*.810°C.100X



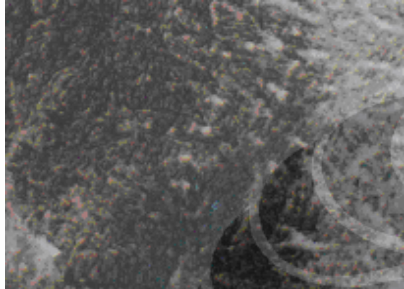
Gambar.4.34.E. *SA*.810°C.100X.



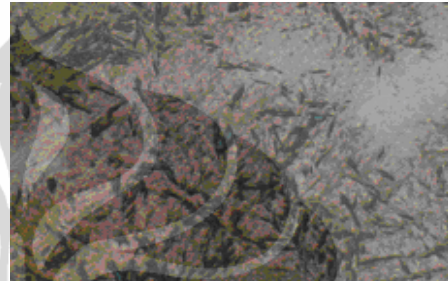
Gambar 4.35.A. HAZ Weldability SA. 810°C



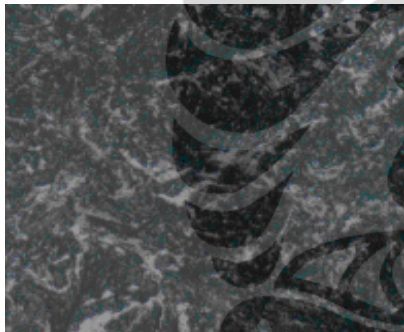
Gambar 4.36.B. HAZ.Weldability.640°C.



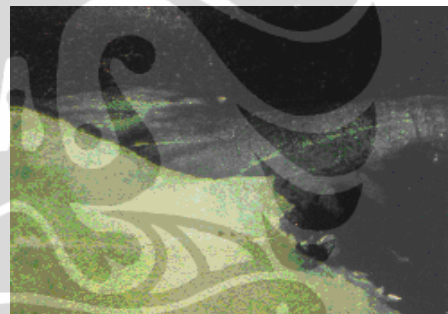
Gambar 4.37.D. HAZ Weldability Q/T.C.690°C.



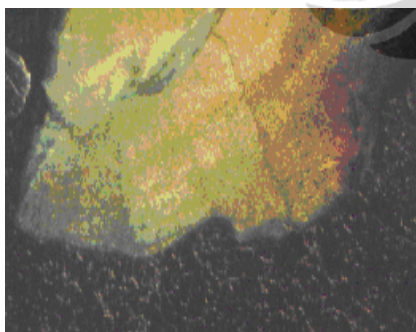
Gambar 4.38. D. HAZ.Weldability Q/T..600°C.100X



Gambar.4.39.E HAZ Weldability.S/A.810°C.

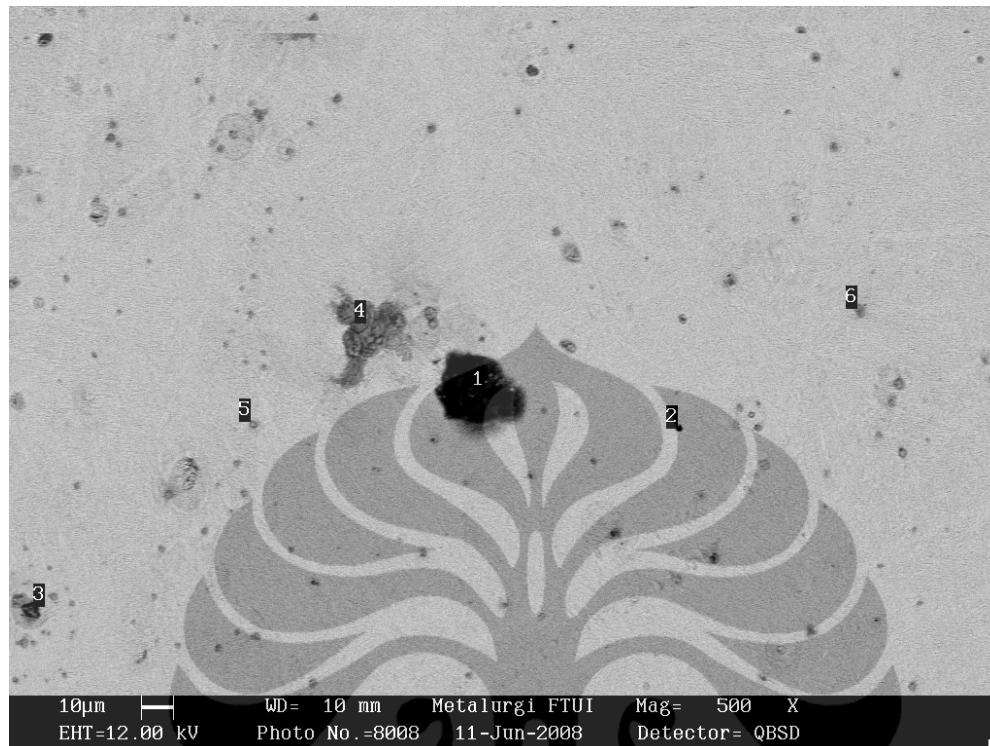


Gambar.4.40.C.Weldability.Inti Las.Q/T.690°C.



Gambar.4.41.D.Weld ability Inti Las..Q/T 640°C

#### 4.5.2. Hasil Foto Struktur Mikro dengan Menggunakan SEM



**Gambar 4.42.** Foto SEM Paduan C dengan Perlakuan *Quench Temper* 640°C

#### 4.5.3. Hasil Uji Komposisi Menggunakan EDS (*Energy Disperse Spectroscopy*) Sample Paduan C Q/T 640°C

**Tabel 4.10.** Hasil Uji Komposisi dengan Menggunakan EDS

komposisi (% unsur)	titik 1	titik 2	titik 3	titik 4	titik 5	titik 6
C	64,89	2,93	2,72	2,74	2,81	3,13
Mg	2,95	-	-	-	-	-
Al	2,72	-	-	-	-	-
Si	3,32	1,54	1,36	1,18	1,28	2,03
Fe	26,12	92,37	93,2	92,43	91,92	91,58
Cr	-	3,16	2,72	3,65	4	3,26
Total	100	100	100	100	100	100



#### 4. 6. Data Hasil Pengujian Weldability

Tabel.4.13. Hasil Pengujian Tarik Sampel Las

SAMPSEL				Kuat tarik <i>Tensile stress</i> (Kg/mm <sup>2</sup> )	Batas luluh <i>Yield stress</i> (Kg/mm <sup>2</sup> )	Regangan <i>Elongation</i> (%)	Keterangan <i>Remarks</i>
Code	Cross section (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Gauge length (mm)				
SA – SE ESA	12.30	118.82	-	27	-	-	Putus di las
ASA – SS	12.40	120.76	-	-	-	-	Tidak dapat data
B. SA – SB	12.40	120.76	-	25	-	-	Putus di las
A – A	12.80	128.67	-	-	-	-	Tidak dapat data
F – F	12.80	128.67	-	-	-	-	Tidak dapat data

Tabel.4.14. Hasil Pengujian Kekerasan Sampel Las

<u>Kode Sampel</u> <i>Sample Code</i>	<u>Penjejakan</u> <i>Indentation</i>	<u>Kekerasan Vickers (HV)</u> <i>Vickers Hardness (HV)</i>	<u>Rata-rata HV</u> <i>Average</i>	<u>Keterangan</u> <i>Remarks</i>
Base Metal	I	218	215	Beban penjejakan =300 gr
	II	208		
	III	218		
HAZ	I	406	396	
	II	401		
	III	380		
Las	I	511	501	
	II	511		
	III	481		

## BAB 5

### PEMBAHASAN

#### 5.1. UMUM

Penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi kadar silikon terhadap sifat mekanis baja perkakas model baru. Adapun baja perkakas model baru itu sendiri adalah baja perkakas dengan tidak memvariasikan kadar molibdenum dan vanadium, melainkan memvariasikan kadar silikon. Baja perkakas model baru tersebut kemudian diberikan perlakuan panas, diantaranya dengan perlakuan *quench temper* (Q/T) dengan temperatur temper yang berbeda yaitu 600°C, 640°C, dan 690°C serta perlakuan *Spheroidized Anneal* pada temperatur 810°C. Material baja perkakas akan diuji untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan, terutama sifat kekerasan, sifat ketahanan aus, dan kekuatan tarik. Hal ini dikarenakan material baja perkakas yang diteliti dapat diaplikasikan pada bidang manufaktur sebagai material *mold* dan *dies*.

Proses pembuatan baja perkakas ini dilakukan dengan metode pengecoran *sand casting* yang dilakukan di PT X. Baja perkakas ini dibuat menjadi 5 (lima) macam sampel dengan komposisi yang berbeda dan diberi nama paduan A, B, C, D, dan E. Paduan A, B, dan C dengan pengaturan komposisi yaitu penambahan Si, paduan A 0,8 wt% Si, paduan B 2,0 wt% Si, dan C 3,0 wt% Si dengan perbandingan jumlah unsur paduan lainnya yang sama. Sedangkan pada paduan D dan E pengaturan komposisi dengan kadar Si yang sama 0,5 wt% Si tetapi pada sampel D tidak diberikan paduan pembentuk karbida yaitu *Vanadium*. Setelah sampel sudah siap dilakukan pengujian dengan membandingkan sifat mekanis kelima paduan baja perkakas tersebut terhadap pengaruh perlakuan panas yaitu *quench temper* dan *spheroidized anneal* dengan melakukan pengujian seperti : pengujian kekerasan, pengujian laju aus, pengujian tarik, pengujian mikrostruktur, dan pengujian komposisi karbida baja perkakas.

Penelitian yang kini dilakukan akan menitikberatkan pada beberapa fokus yaitu :

1. Menyelidiki pengaruh perlakuan panas *quench temper* pada temperatur temper 600°C, 640°C, dan 690°C terhadap sifat mekanis baja perkakas, dan

2. Menyelidiki pengaruh perlakuan *spheroidized anneal* terhadap sifat mekanis baja perkakas
3. Menyelediki sifat weldability dari material baja perkakas – cast.
4. Menyelediki sifat flame hardening dari material baja perkakas as - cast
5. Menyelidiki kekuatan tarik pada temperatur as – cast.
6. Menyelidiki kekerasan as – cast dari material baja perkakas
7. Menyelediki sifat ketahanan aus dari material baja perkakas.
8. Mengamati struktur mikro dari baja perkakas.

## **5.2. SIFAT MEKANIS BAJA PERKAKAS AS – CAST**

Dari data hasil pengujian tarik material baja perkakas *As – Cast* rata – rata, diperoleh nilai kekuatan tarik rata – rata 69 Kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh baja perkakas jenis E yaitu 88 Kg/mm<sup>2</sup>, Baja perkakas jenis D memiliki nilai kekuatan tarik 81 Kg/mm<sup>2</sup>, Nilai kekuatan tarik untuk baja perkakas jenis C 65 Kg/mm<sup>2</sup>, nilai kekuatan tarik untuk baja perkakas jenis B 64 Kg/mm<sup>2</sup>, nilai kekuatan tarik terendah dimiliki oleh baja perkakas jenis A yaitu 44 Kg/mm<sup>2</sup>. Tingginya nilai kekuatan tarik tersebut disebabkan oleh adanya fasa martensit dari baja perkakas, adapun fasa martensit sendiri memiliki karakter keras, namun getas. Disamping itu tingginya nilai kekerasan tersebut disebabkan oleh kehadiran karbida – karbida keras yang menghalangi pergerakan dislokasi yang tersimpan dalam matriks butir. Tingginya nilai kekuatan tarik untuk material baja perkakas B,C,D,E salah satunya dipengaruhi oleh keberadaan unsur molybdenum (Mo) yang berjumlah rata – rata 0,45%, sedangkan untuk baja perkakas jenis A memiliki kadar Mo mencapai 0,3%. Disamping itu kadar vanadium untuk a (0,009%). Kadar nikel dari baja perkakas jenis B,C,D,E rata – rata 0,17%, sedangkan kadar nikel untuk baja perkakas jenis A 0,0536%. Dengan demikian paduan baja perkakas B,C,D,E, memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan baja perkakas jenis A, dikarenakan baja perkakas B,C,D,E lebih banyak mengandung endapan fasa kedua dibandingkan baja perkakas jenis A. Endapan fasa kedua akan menghalangi pergerakan dislokasi, sehingga nantinya akan memperkuat dari baja perkakas.

Dari data hasil pengujian kekerasan untuk baja perkakas As – Cast hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan cenderung meningkat untuk dari baja A, ke B, ke C kemudian kekuatan tarik cenderung menurun untuk baja jenis D (40 HRC) dan baja perkakas jenis E (36 HRC). Kecenderungan dari kenaikan kekerasan untuk baja jenis A (46HRC), B (51HRC) dan C(59 HRC) disebabkan karena kadar karbon yang cenderung meningkat, sehingga populasi fasa martensitpun menjadi meningkat, didukung juga oleh keberadaan fasa kedua (karbida) dari paduan Vanadium (V) 0,12%, Nikel (Ni 0,18%), kromium (Cr 1,5%), Molibdenum (Mo 0,4%), dalam jumlah yang signifikan. Endapan karbida dalam jumlah yang signifikan akan menjadi efek penghalang bagi pergerakan dislokasi, dan memperlunak dari permukaan baja perkakas, dikarenakan endapan karbida memiliki karakteristik keras dan getas. Nilai kekerasan untuk baja perkakas As – Cast jenis C dan D yang cenderung menurun, dikarenakan oleh kadar karbon yang cenderung menurun dari 0,502% untuk baja jenis D menjadi 0,4% untuk baja jenis E. kadar karbon yang semakin menurun akan memperlunak dari baja perkakas, disamping itu keberadaan endapan fasa kedua juga mengalami penurunan yaitu Molibdenum (D : 0,4% , E 0,3%); Vanadium (D: 0,13% , E : 0,009%).Nikel (D: 0,059%, E: 0,053%). Keberadaan endapan fasa kedua yang semakin menurun tersebut akan menurunkan nilai kekerasan dari material baja perkakas tersebut. Dikarenakan endapan fasa kedua berfungsi menambah kekuatan dengan cara menghalangi pergerakan dari cacat mikro (dislokasi) dan menambah kekerasan dari material, dikarenakan endapan fasa kedua memiliki karakteristik keras dan getas.

### **5.3. PENGARUH PERLAKUAN *QUENCH TEMPER* TERHADAP SIFAT MEKANIS BAJA PERKAKAS**

Jika dibandingkan nilai kekerasan baja perkakas hasil perlakuan *quench temper* hasil penelitian dengan nilai kekerasan target, maka untuk perlakuan quench temper 600°C dapat dikatakan sanggup menyamai nilai kekerasan target. Apalagi jika dibandingkan dengan nilai kekerasan material baja SKD 11 (24 HRC), nilai kekerasan sampel hasil penelitian A, B,C,D dan E berturut – turut masing masing 39, 27, 32, 30 dan 23 HRC, sedangkan nilai kekerasan material

baja perkakas target yang diharapkan (dari *Korean Institute of Industrial Technology*) berturut – turut untuk sampel A,B,C,D dan E masing adalah 36, 37, 38, 32 dan 27 HRC. Kesamaan nilai kekerasan ini disebabkan oleh keberhasilan dalam hal pembentukan karbida pada sampel penelitian yang berfungsi sebagai penguat dan pengeras pada sampel hasil penelitian. Perbedaan yang mencolok yaitu pada sampel B, nilai kekerasan pada sampel B cenderung menurun secara drastis, hal ini disebabkan karena endapan karbida pada sampel B kurang tersebar dengan merata, apabila dibandingkan dengan karbida pada sampel target. Dari hasil pengujian tarik, diperoleh data bahwa nilai kekuatan tarik mengalami perbedaan yang mencolok untuk sampel penelitian jenis A. Nilai UTS riset 34 kg/mm<sup>2</sup> sedangkan nilai UTS target adalah 98 Kg/mm<sup>2</sup>, kemudian untuk sampel riset B, nilai UTS riset adalah 64 Kg/mm<sup>2</sup> sedangkan nilai UTS target adalah 100Kg/mm<sup>2</sup>. Perbedaan yang cukup signifikan dalam hal nilai UTS ini disebabkan oleh morfologi karbida pada sampel hasil riset cenderung lebih tajam, apabila dibandingkan dengan material perkakas target, sehingga sampel riset cenderung jauh lebih getas apabila dibandingkan dengan material perkakas target.

Untuk material perkakas riset hasil perlakuan *quench temper* 640°C diperoleh data – data bahwa nilai kekerasan untuk sampel B,D, mengalami penyimpangan yang cukup signifikan. Untuk nilai kekerasan baja B riset 20 HRC, nilai kekerasan baja perkakas B target 37 HRC. Kemudian nilai kekerasan baja D riset 17 HRC, sedangkan nilai kekerasan baja D target 32 HRC. Rendahnya nilai kekerasan baja perkakas riset disebabkan oleh morfologi dari karbida baja perkakas riset yang berbentuk jarum, yang sangat memungkinkan untuk berkumpulnya tegangan pada daerah ujung – ujung jarum tersebut, sehingga nantinya berpotensi terjadinya retak tegang. Untuk nilai kekuatan tarik material baja perkakas riset diperoleh data – data nilai kekuatan tarik yang seragam dengan baja perkakas target untuk semua jenis paduan. Hal ini disebabkan oleh telah teraglomerasi dengan optimal dari semua karbida pada baja perkakas riset, sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang optimal.

Untuk material baja perkakas riset hasil perlakuan *quench temper* 690°C, bahwa untuk nilai pengujian kekerasan diperoleh data – data bahwa untuk semua paduan riset mengalami penyimpangan yang cukup signifikan, yaitu nilai

kekerasan material baja perkakas riset paduan A 26 HRC, B 15 HRC, C 25 HRC, D 32 HRC, E 15 HRC, sedangkan nilai kekerasan material baja perkakas target untuk paduan A 36 HRC, B 27 HRC, C 38 HRC, D 32 HRC, E 27 HRC. Rendahnya nilai – nilai kekerasan dari baja perkakas riset disebabkan oleh penyebaran dari fasa karbida – karbida penguat yang tidak homogen, sehingga ketika dilakukan penjejukan, beban yang diterima oleh material riset tidak didistribusikan dengan seragam, sehingga nilai kekerasan yang tercatat menjadi rendah. Adapun dari hasil pengujian tarik untuk material quench temper material baja perkakas riset diperoleh data bahwa semua paduan pada baja perkakas riset memiliki nilai kekuatan tarik setara dengan material baja perkakas riset, yaitu rata – rata 100Kg/mm<sup>2</sup>.

Nilai kekerasan untuk material baja perkakas jenis *Quench* dan *Temper* untuk jenis *tempering* 600°C adalah sebagai berikut : Nilai kekerasan rata – rata untuk material baja perkakas A,B,C adalah (33 HRC) adalah lebih besar dari nilai kekerasan baja perkakas jenis D dan E (32 HRC). Penurunan rata – rata nilai kekerasan baja perkakas tersebut disebabkan oleh kadar karbon yang cenderung menurun dari A→B→C→D→E, seperti dijelaskan sebelumnya. Penurunan dari kadar karbon berarti penurunan dari kadar martensit pada baja perkakas tersebut sehingga berakibat kepada penurunan dari kekerasan baja perkakas. Disamping itu, endapan fasa kedua juga mengalami penurunan, sehingga kekerasan pun menjadi menurun. Tetapi, untuk tiap – tiap nilai kekerasan dari baja perkakas tipe A,B,C,D,E, masing – masing nilai kekerasannya mengalami penurunan, jika dibandingkan dengan baja perkakas A,B,C,D,E hasil *As – Cast*. Hal ini disebabkan oleh perlakuan tempering pada material baja perakas, sehingga fasa martensite berubah menjadi *martensite temper* yang memiliki struktur yang lebih *spheroidal* dan memiliki nilai kekerasan lebih rendah dibandingkan fasa *martensite* yang tidak ditemper. Endapan fasa kedua pun menjadi lebih lunak dibandingkan endapan fasa kedua yang tidak ditemper. Hal ini disebabkan endapan fasa kedua tersebut menjadi lebih membulat, sehingga material baja perkakas menjadi lebih lunak.

Nilai kekerasan untuk material baja perkakas hasil tempering 640°C (25 HRC) mengalami penurunan jika dibandingkan dengan nilai kekerasan material

baja perkakas hasil *tempering* 600°C (30 HRC). Hal ini disebabkan karena temperatur *tempering* yang semakin meningkat, sehingga morfologi martensit temper bertransformasi yang semula berbentuk jarum menjadi lebih tumpul, sehingga berpengaruh terhadap nilai kekerasan dari baja perkakas dimana baja perkakas menjadi semakin melunak.

Nilai kekerasan dari baja perkakas untuk *tempering* pada temperatur 690°C menunjukkan data bahwa nilai kekerasan rata – rata hasil penelitian yang diperoleh adalah 20 HRC. Nilai kekerasan hasil *tempering* 690°C mengalami penurunan apabila dibandingkan dengan nilai kekerasan pada temperature 640°C. Hal ini disebabkan martensit temper dan endapan karbida

Yang terbentuk semakin melunak. Semakin tinggi kenaikan temperatur maka martensit temper akan semakin melunak, karena terjadinya difusi karbon dari Struktur Kristal menuju matriks butir. Semakin banyak karbon yang berdifusi maka baja perkakas akan semakin melunak.

Data pengujian tarik perlakuan *Quench Temper* rata – rata 600°C adalah 64 Kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan kekuatan tarik rata – rata untuk sampel uji tarik *As – Cast* adalah 67 Kg/mm<sup>2</sup>, hal ini menunjukkan bahwa baja perkakas mengalami penurunan kekuatan tarik. Kekuatan tarik yang menurun ini disebabkan oleh perubahan morfologi martensit yang menjadi semakin membulat, sehingga kekuatan menjadi sedikit menurun namun keuletan dari baja perkakas menjadi meningkat. Penurunan kekuatan ini disebabkan oleh fasa martensit yang berbentuk jarum berubah menjadi fasa martensit yang berbentuk batang (tumpul) sehingga kekuatan dan kekerasan pun menjadi menurun. Tetapi, untuk baja perkakas yang telah di *quench temper* ini mengalami kenaikan dalam keuletan. Data pengujian tarik material baja perkakas *quench temper* untuk *tempering* 640°C adalah 100 Kg/mm<sup>2</sup>. Nilai pengujian tarik ini lebih besar dari hasil pengujian tarik *As – Cast*, dikarenakan pada *tempering* 640°C ini sudah mulai terjadi pengkasaran butir yaitu berupa karbida karbida seperti Cr<sub>x</sub>C<sub>y</sub>, V<sub>x</sub>C<sub>y</sub>, Mo<sub>x</sub>C<sub>y</sub>, Ni<sub>x</sub>C<sub>y</sub> yang teraglomerasi pada matriks butir yang nantinya menjadi penghalang terjadinya pergerakan dislokasi, sehingga meningkatkan kekuatan secara signifikan.

Pengaruh perlakuan panas *quench temper* pada temperatur yang berbeda yaitu 600°C, 640°C, dan 690°C terhadap baja perkakas memberikan efek yang sangat signifikan terhadap sifat mekanis yang dimiliki baja perkakas. Seiring dengan dengan semakin tingginya temperatur temper yang digunakan maka nilai kekerasannya semakin turun[14] dari hasil penelitian didapatkan untuk setiap kenaikan temperatur temper maka nilai kekerasan yang dimiliki baja perkakas A, B, dan C cenderung untuk menurun hal ini diperlihatkan pada gambar 4.7. kekerasan yang menurun ini disebabkan karena perubahan struktur martensit menjadi martensit temper. Martensit merupakan larutan padat lewat jenuh dari karbon yang terjebak di dalam struktur BCT dan merupakan fasa yang metastabil yaitu jika diberikan energi berupa kenaikan temperatur temper, maka karbon akan mengendap menjadi karbida. Sedangkan pada paduan baja perkakas D dan E yang membedakannya adalah pemberian unsur pembentuk karbida yaitu *Vanadium* pada gambar 4.7 memperlihatkan adanya fenomena ketika tempertur temper 640°C pada baja perkakas D dan E terjadi titik maksimal pada E kemudian nilai kekerasannya akan turun kembali pada temperatur 690°C hal ini disebabkan pada temperatur 640°C, yaitu pada penambahan unsur pembentuk karbida berupa vanadium memiliki kemampuan untuk membentuk karbida yang dipengaruhi oleh temperatur untuk berubah menjadi karbida, karena dengan terbentuknya karbida yang sempurna dapat meningkatkan nilai optimum hal ini disebabkan oleh mekanisme *secondary hardening*, *secondary hardening sendiri* adalah suatu fenomena yang merupakan bentuk reaksi pengerasan penuaan (*age hardening*), dimana disperse sementit yang relative kasar digantikan oleh disperse karbida yang lebih halus. Fenomena ini hanya terjadi pada baja paduan yang mengandung unsur paduan pembentuk karbida yang kuat, yaitu Cr, V, W, Mo, dan Ti. Dan jika temperatur temper dinaikan maka kekerasan akan menurun dikarenakan energi yang diberikan akan membuat perkasaran karbida sehingga karbida akan semakin membesar.

Sifat mekanis dari baja perkakas yang termasuk penting adalah ketahanan aus seperti yang diperlihatkan oleh gambar 4.6 diamana menunjukkan semakin tinggi temperatur temper maka semakin turun nilai kekerasan permukaan dari baja perkakas sehingga akan mempengaruhi ketahanan aus dari baja perkakas tersebut,



pada baja perkakas sendiri terjadi penurunan nilai dibandingkan dengan nilai ketahanan aus sebelum perlakuan panas seperti ditunjukkan pada gambar 4.5. Pada gambar grafik tersebut menunjukkan nilai laju aus dari baja perkakas sebelum perlakuan 2,164 ( $10^{-6}$  mm<sup>2</sup>/mm) dengan mengalami perlakuan panas *quench temper* dengan menggunakan temperatur temper yang terus semakin tinggi maka laju aus dari baja perkakas B semakin besar yaitu semakin banyaknya volume baja perkakas B yang terkikis di perlihatkan pada gambar 4.6. baja perkakas B pada temperatur temper 600°C memiliki nilai laju aus 3,088 ( $10^{-6}$  mm<sup>2</sup>/mm), kemudian pada temperatur temper 640°C memiliki nilai laju aus 4,072 ( $10^{-6}$  mm<sup>2</sup>/mm), dan 690°C laju aus nya 4,232 ( $10^{-6}$  mm<sup>2</sup>/mm).

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan *quench temper* terhadap nilai kekuatan tarik baja perkakas, jika dibandingkan dengan baja perkakas *As Cast* yaitu dengan membandingkan grafik yang terdapat pada gambar 4.8. dengan yang ada pada gambar 4.9, dimana dengan diberlakukannya perlakuan panas *quench temper*, maka nilai UTS yang dimiliki baja perkakas semakin tinggi, hal ini mengakibatkan baja perkakas memiliki nilai kekuatan tariknya semakin tinggi dan akan turun kembali setelah melewati titik maksimum[15], titik maksimum dari UTS tersebut dikarenakan adanya hubungan dengan keberadaan karbida pada *tempering* temperatur rendah *primary* martensit terdekomposisi menjadi karbida dan berkelompok dengan atom karbon, persipitat karbida tidak akan efektif untuk menghambat pergerakan dislokasi selama terjadinya proses peregangan ini, sehingga menyebabkan nilai UTS menjadi sangat rendah. Walaupun demikian selama temperatur temper ditingkatkan persipitat karbida akan meningkatkan aktifitas kelarutan karbon dalam matrik dan secara simultan ruang antar partikel akan menurun dan akan meningkatkan nilai UTS pada titik optimum[15]. Kelima baja perkakas memiliki nilai optimum pada pada temperatur temper 640°C seperti yang dilihat pada gambar 4.9 setelah itu akan terjadi penurunan UTS dikarenakan ada pengaruh *solid solution strengthening* akibat dari penambahan Si. Kekuatan tarik dipengaruhi oleh kehalusan karbida paduan dan penyebarannya yang merata pada matriks yang berhubungan dengan ruang pergerakan dislokasi. Semakin halus dan merata karbida yang tersebar maka kekuatan tariknya semakin tinggi pula (*dispersion strengthening*).

Dari hasil uji metalografi baja perkakas dengan perlakuan panas *quench temper* dapat dilihat pengaruh dari penambahan unsur paduan pada baja perkakas ternyata merubah kehalusan besar butir dimana dipengaruhi oleh temperatur yang berbeda, yang terlihat pada foto hasil metalografi baja perkakas di mana memiliki dua fasa yaitu fasa ferit dan fasa martensit temper. Dengan semakin tingginya temperatur temper maka ferit akan bergerak pada batas butir, kemudian akan menyebar merata, seperti halnya dengan karbida, karbida semakin menyebar merata seiring dengan dinaikkan temperatur temper. Kemudian dari pengamatan SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang dilakukan pada baja perkakas C dengan perlakuan panas *quench temper* pada temperatur temper 640°C dapat diketahui penyebaran dari karbida yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 4.61. Kemudian untuk mendeteksi keberadaan komposisi dari karbida dianalisa dengan menggunakan EDS (*Electric Disperse Spectroscopy*) dengan menambakkan elektron ke enam titik yang berbeda dengan memanfaatkan prinsip *backscatter* didapati komposisi seperti pada tabel 4.10. dari keenam titik tersebut ada kemungkinan terbentuk karbida AlFeSi, SiC, SiCr, FeCr dan FeSi.

#### **5.4. PENGARUH PERLAKUAN *SPHERODIZED ANNEAL* TERHADAP SIFAT MEKANIS BAJA PERKAKAS**

Penyimpangan nilai kekerasan hasil pengujian *spheroid anneal* diperoleh untuk jenis material baja perkakas riset B, D dan E. Nilai kekerasan baja perkakas B riset 18 HRC, D riset 26 HRC, E riset 14 HRC. Adapun nilai kekerasan untuk material baja perkakas target untuk paduan B 26 HRC, D 17 HRC dan E 23 HRC. Rendahnya nilai kekerasan material riset B dan D disebabkan oleh fasa karbida yang tidak teraglomerasi dengan optimal. Untuk material perkakas riset D memiliki nilai kekerasan melebihi material perkakas target, disebabkan oleh karbida – karbida telah teraglomerasi dengan optimal, disamping itu kadar silikon karbida (SiC) pada material riset lebih banyak apabila dibandingkan dengan kadar silikon karbida material baja perkakas target. Untuk nilai kekuatan tarik material perkakas hasil perlakuan *spheroid anneal* diperoleh data – data bahwa nilai kekuatan tarik untuk semua sampel material perkakas riset lebih tinggi apabila dibandingkan dengan material perkakas target. Hal ini disebabkan semua endapan

karbida telah teraglomerasi dengan optimal (merata), disamping itu bentuk butir pada material baja perkakas riset telah membulat dengan optimal, hal ini, akan mengakibatkan nilai kekuatan tarik material perkakas riset meningkat dengan signifikan. Adapun nilai kekuatan tarik material baja perkakas riset hasil perlakuan *spheroid anneal* adalah (dalam  $\text{Kg/mm}^2$ ) A 98, B 86, C 96, D 104, E 100. Sedangkan nilai kekuatan tarik untuk material baja perkakas target adalah (dalam  $\text{Kg/mm}^2$ ) A 79, B 81, C 83 D 61, E 78.

Pengaruh perlakuan *spheroidized anneal* terhadap sifat mekanis baja perkakas sama halnya dengan perlakuan *quench temper*, dimana baja diharapkan memiliki ketangguhan yang baik. Dengan perlakuan *spheroidized anneal* seperti pada proses anneal yang lainnya, nilai kekerasan dari material baja perkakas akan menurun seperti terlihat pada gambar 4.1., dimana untuk grafik kekerasan *As Cast* dibandingkan dengan gambar 4.4 grafik pada kekerasan perlakuan *spheroidized anneal* nilai dari kekerasan material baja perkakas sebelum perlakuan *As Cast* setelah mengalami perlakuan *spheroidized anneal* nilai kekerasan menurun antara lain untuk material A kekerasan *As Cast* mencapai 46 HRC menjadi 22 HRC setelah mengalami perlakuan *spheroidized anneal* dan material lainnya seperti material baja perkakas B 51 HRC, C 59 HRC, D 40 HRC, dan E 36 HRC sesudah perlakuan *spheroidized anneal* material-material baja perkakas tersebut mengalami penurunan nilai kekerasan untuk B 18 HRC, C 25 HRC, D 26 HRC, dan E 14 HRC. Penurunan nilai kekerasan ini disebabkan karena perubahan struktur menjadi *spheroid* sehingga material menjadi lebih ulet seperti dipelihatkan pada gambar 2.6. disamping itu morfologi *spheroid* menyebabkan mikrostruktur menjadi stabil dikarenakan fasa ferit terbebas dari tegangan dikarenakan oleh sementit yang bermorfologi sferikal mengakibatkan daerah *interface* menjadi minimum[7]. Di samping nilai kekerasan, nilai ketahanan aus dari baja perkakas setelah mengalami perlakuan *spheroidized anneal* memiliki laju aus yang semakin membesar dikarenakan semakin banyak volume material yang terkikis akibat dari nilai kekerasan yang menurun. Nilai kekerasan yang menurun tersebut disebabkan pengaruh dari perlakuan *anneal*, sehingga material semakin lunak dan semakin mudah terkikis. Untuk lebih jelasnya yaitu dengan membandingkan gambar 4.5 dengan gambar 4.7. Pada gambar tersebut terlihat

perbandingan nilai laju aus sebelum dan sesudah perlakuan *spheroidized anneal*. Sedangkan untuk ketahanan dari material untuk mendapatkan beban tarik hubungannya ditunjukkan pada gambar 4.8 untuk nilai UTS dari material baja perkakas sebelum perlakuan, dengan gambar 4.10 untuk nilai UTS dari material baja perkakas setelah perlakuan, baja perkakas mengalami penambahan nilai seperti ini, menunjukkan bahwa material baja perkakas semakin tangguh.

Pada hasil pengujian metalografi terlihat bahwa tujuan dari penelitian mendapatkan struktur yang berbentuk sferikal tidak didapat, struktur yang didapat terdiri dari fasa bainit, ferit, dan austenit walaupun dari beberapa jenis baja perkakas ada yang mendekati bentuk sferikal yaitu pada paduan B pada gambar 4.53.

Hasil pengujian Kekerasan *Spheroid Anneal*. Dari hasil pengujian *spheroid anneal* diperoleh nilai kekerasan rata – rata 20,2 HRC. Nilai kekerasan ini jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai kekerasan *As – Cast*. Hal ini karena, bentuk butir menjadi lebih membulat, diiringi dengan morfologi *martensite* yang tadinya berbentuk jarum menjadi lebih membulat, dikarenakan pada baja perkakas tersebut terjadi difusi karbon keluar dari struktur Kristal nya, menuju matriks butir, sehingga kadar karbon dalam struktur Kristal menjadi menurun, dan baja perkakas menjadi melunak.

Dari hasil pengujian tarik untuk pengujian *spheroid anneal*, diperoleh nilai kekuatan tarik rata – rata 99 Kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekuatan tarik ini lebih tinggi dari nilai kekuatan tarik baja perkakas *As – Cast* dikarenakan butiran baja perkakas telah mengalami pembulatan dan fasa martensit yang semula berbentuk jarum sudah berubah menjadi martensit yang ter temper akibat perlakuan *spheroid anneal*. Semakin bulat dan semakin kecil ukuran butir akan meningkatkan kekuatan material secara signifikan, sesuai dengan persamaan *Hall – Petch* yaitu  $\sigma = \sigma_x + kd^{-1/2}$  dimana  $\sigma$  adalah kekuatan akhir dari baja perkakas,  $\sigma_x$  adalah kekuatan teoritis dari material, k adalah konstanta dan d adalah diameter butir dari material baja perkakas. Dari persamaan tersebut terlihat bahwa semakin kecil ukuran butir maka material baja perkakas akan semakin kuat. Penguatan baja perkakas hasil perlakuan *spheroid anneal* tidak semata – mata disebabkan oleh ukuran butir yang bulat dan halus, tetapi juga ditentukan oleh endapan – endapan

karbida yang teraglomerasi didalam butir yang nantinya akan memperkuat baja perkakas, dikarenakan endapan – endapan karbida itu akan menghalangi pergerakan dislokasi.

### 5.5. PERBANDINGAN SIFAT MEKANIS BAJA PERKAKAS

Perbandingan sifat mekanis baja pada setiap pengaruh penambahan unsur Si mempengaruhi nilai kekerasan. Pada penelitian kali ini dengan menambahkan unsur Si dengan jumlah yang berbeda didapati nilai kekerasannya bertambah sesuai dengan literatur[9] ditunjukkan oleh gambar 2.5 pengaruh elemen paduan terhadap nilai kekerasan martensit temper. Unsur Si dapat meningkatkan nilai kekerasan baja perkakas karena adanya mekanisme *solid solution hardening* seperti pada penelitian sebelumnya [16]. Sedangkan untuk perbandingan nilai kekerasan dengan penambahan unsur paduan *Vanadium* nilai kekerasan akan bertambah sesudah penambahan *vanadium*. *vanadium* termasuk pembentuk karbida lebih hebat dari *chromium* atau *molybdenum*. dengan perlakuan temper *vanadium* akan membentuk paduan karbida  $V_4C_3$  atau VC dengan menggantikan fasa martensit dan menyebar merata pada temperatur  $A_1$  seperti yang ditunjukkan pada hasil penelitian yang di dapat pada gambar 4.1 dengan penambahan unsur paduan vanadium maka nilai kekerasan bertambah dengan membandingkan baja perkakas D dan E, dari segi sifat mekanis yang lainnya seperti ketahanan laju aus semakin tinggi kadar Si yang ditambahkan pada baja perkakas maka laju ausnya semakin besar, dan material dengan penambahan V laju ausnya semakin kecil dibandingkan dengan tanpa penambahan V. Kemudian untuk sifat kekuatan beban tarik sama halnya dengan sifat sebelumnya pengaruh dari penambahan unsur tambahan meningkatkan nilai kekuatan beban tarik.

Dari hasil pengujian metalografi dilihat semakin diberikannya unsur paduan seperti Si dan V memberikan pengaruh menghaluskan butir.

Dari data hasil pengujian kekerasan untuk baja perkakas *As – Cast* hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan cenderung meningkat untuk dari baja A, ke B, ke C kemudian kekuatan tarik cenderung menurun untuk baja jenis D (40 HRC) dan baja perkakas jenis E (36 HRC). Kecenderungan dari kenaikan kekerasan untuk baja jenis A (46 HRC), B (51 HRC) dan C(59 HRC) disebabkan

karena kadar karbon yang cenderung meningkat, sehingga populasi fasa martensitpun menjadi meningkat, didukung juga oleh keberadaan fasa kedua (karbida) dari paduan Vanadium (V) 0,12%, Nikel (Ni 0,18%), kromium (Cr 1,5%), Molibdenum (Mo 0,4%), dalam jumlah yang signifikan. Endapan karbida dalam jumlah yang signifikan akan menjadi efek penghalang bagi pergerakan dislokasi, dan memperkeras dari permukaan baja perkakas, dikarenakan endapan karbida memiliki karakteristik keras dan getas. Nilai kekerasan untuk baja perkakas *As – Cast* jenis C dan D yang cenderung menurun, dikarenakan oleh kadar karbon yang cenderung menurun dari 0,502% untuk baja jenis D menjadi 0,4% untuk baja jenis E. kadar karbon yang semakin menurun akan memperlunak dari baja perkakas, disamping itu keberadaan endapan fasa kedua juga mengalami penurunan yaitu Molibdenum (D : 0,4% , E 0,3%); Vanadium (D: 0,13% , E : 0,009%).Nikel (D: 0,059%, E: 0,053%). Keberadaan endapan fasa kedua yang semakin menurun tersebut akan menurunkan nilai kekerasan dari material baja perkakas tersebut. Dikarenakan endapan fasa kedua berfungsi menambah kekuatan dengan cara menghalangi pergerakan dari cacat mikro (dislokasi) dan menambah kekerasan dari material, dikarenakan endapan fasa kedua memiliki karakteristik keras dan getas.

Nilai kekerasan untuk material baja perkakas jenis *Quench* dan *Temper* untuk jenis *tempering* 600°C adalah sebagai berikut : Nilai kekerasan rata – rata untuk material baja perkakas A,B,C adalah (32,67 HRC) adalah lebih besar dari nilai kekerasan baja perkakas jenis D dan E (31,5 HRC). Penurunan rata – rata nilai kekerasan baja perkakas tersebut disebabkan oleh kadar karbon yang cenderung menurun dari A→B→C→D→E, seperti dijelaskan sebelumnya. Penurunan dari kadar karbon berarti penurunan dari kadar martensit pada baja perkakas tersebut sehingga berakibat kepada penurunan dari kekerasan baja perkakas. Disamping itu, endapan fasa kedua juga mengalami penurunan, sehingga kekerasan pun menjadi menurun. Tetapi, untuk tiap – tiap nilai kekerasan dari baja perkakas tipe A,B,C,D,E, masing – masing nilai kekerasannya mengalami penurunan, jika dibandingkan dengan baja perkakas A,B,C,D,E hasil *As – Cast*. Hal ini disebabkan oleh perlakuan *tempering* pada material baja perakas, sehingga fasa *martensite* berubah menjadi *martensite temper* yang memiliki struktur yang lebih

sferoidal dan memiliki nilai kekerasan lebih rendah dibandingkan fasa *martensite* yang tidak ditemper. Endapan fasa kedua pun menjadi lebih lunak dibandingkan endapan fasa kedua yang tidak ditemper. Hal ini disebabkan endapan fasa kedua tersebut menjadi lebih membulat, sehingga material baja perkakas menjadi lebih lunak.

Nilai kekerasan untuk material baja perkakas hasil tempering 640°C (25,4 HRC) mengalami penurunan jika dibandingkan dengan nilai kekerasan material baja perkakas hasil *tempering* 600°C (30,2 HRC). Hal ini disebabkan karena *temperature tempering* yang semakin meningkat, sehingga morfologi martensit temper bertransformasi yang semula berbentuk jarum menjadi lebih tumpul, sehingga berpengaruh terhadap nilai kekerasan dari baja perkakas dimana baja perkakas menjadi semakin melunak.

Nilai kekerasan dari baja perkakas untuk tempering pada temperature 690°C menunjukkan data bahwa nilai kekerasan rata – rata hasil penelitian yang diperoleh adalah 20,15 HRC. Nilai kekerasan hasil tempering 690°C mengalami penurunan apabila dibandingkan dengan nilai kekerasan pada temperature 640°C. Hal ini disebabkan martensit temper dan endapan karbida

Yang terbentuk semakin melunak. Semakin tinggi kenaikan temperature maka martensit temper akan semakin melunak, karena terjadinya difusi karbon dari struktur kristal menuju matriks butir. Semakin banyak karbon yang berdifusi maka baja perkakas akan semakin melunak [16].

## 5.6. SIFAT MAMPU LAS MATERIAL BAJA PERKAKAS

Untuk nilai pengujian kekerasan dan pengujian tarik dari material las baja perkakas, tidak diperoleh data yang optimal, dikarenakan sampel material perkakas yang akan di tarik tidak dilakukan pemanasan awal atau *pre – heat*. Pemanasan awal bertujuan untuk menghindari terjadinya *thermal shock* pada material perkakas riset. Akibat dari adanya *thermal shock*, maka baja perkakas riset akan menjadi lebih getas, dikarenakan kemungkinan dari terbentuknya martensit dan pengkasaran karbida dalam jumlah yang signifikan. Dari hasil pengujian tarik sampel las riset, ada dua jenis material *spheroid anneal* yang mampu ditarik dengan nilai kekuatan tarik (Kg/mm<sup>2</sup>) A 27, B 25, dengan kondisi

putus didaerah lasan. Sedangkan nilai kekerasan dari sampel lasan didaerah *base metal* 21 HRC, HAZ 40 HRC, inti las 50 HRC.

Tingginya nilai kadar karbon pada sampel contoh A,B,C,D,E mengakibatkan endapan karbida semakin banyak, sehingga logam menjadi getas, walaupun memiliki nilai kekuatan tarik dan kekerasan yang masih signifikan. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil pengujian tarik sampel hasil las – lasan yang mengalami perpatahan getas (Patah sebelum proses penarikan selesai) yaitu untuk sampel B,C,D. Sedangkan untuk sampel A dan E masih dapat menunjukkan kurva tegangan dan regangan, tetapi tetap mengindikasikan nilai kekuatan tarik yang rendah, yang ditunjukkan dengan grafik elongasi yang luasan areanya sangat sedikit, jauh apabila dibandingkan dengan kurva tegangan regangan, hasil spheroid anneal.

Dari hasil pengujian tarik material hasil pengelasan menunjukkan bahwa sampel yang memiliki karakteristik mampu las yang agak baik adalah sampel hasil *spheroid anneal*, walaupun demikian, tetap dikatakan gagal, karena sampel las – lasan mengalami patah didaerah las – lasan. Perpatah didaerah las – lasan ini disebabkan karena pada saat akan mengelas, sampel lasa – lasan tidak dilakukan pemanasan awal atau *pre – heat*. Sampel hasil *spheroid anneal* masih mampu menunjukkan nilai kekuatan tarik, walupun pada sampel – sampel tersebut tidak dilakukan pemanasan awal, hal ini disebabkan oleh semakin membulatnya butir pada material hasil pengujian, sehingga mempertinggi keuletan dari material baja perkakas. Kenyataan seperti ini sesuai dengan teori dari *hall patch* yaitu  $\delta = \delta_0 + kd^{-1/2}$ . dimana  $\delta$  adalah kekuatan akhir teoritis,  $\delta_0$  adalah kekuatan awal dan  $d$  adalah diameter butir, artinya semakin kecil dan semakin bulat ukuran butir maka material menjadi semakin kuat.

Karakteristik dari mampu las ini berarti bahwa nilai kekuatan tarik material sampel pengelasan mampu menyamai nilai kekuatan tarik material bukan sampel pengelasan. Adapun nilai kekuatan tarik rata – rata dari sampel *spheroid anneal* adalah 26 Kg/mm<sup>2</sup>. nilai kekuatan tarik ini sangat mendekati sampel non pengelasan yaitu sebanyak 28kg/mm<sup>2</sup>.

Dari hasil pengujian kekerasan rata – rata sampel pengelasan, diperoleh data bahwa nilai kekerasan sampel pengelasan rata – rata tertinggi yaitu didaerah las



(50 HRC), kemudian didaerah las (40 HRC) dan yang terendah yaitu didaerah *base metal* (20 HRC). Kekerasan yang tinggi yang dimiliki oleh daerah lasan disebabkan oleh populasi fasa karbida yang terbanyak untuk daerah las ini. Disamping itu pada daerah lasan ini mengalami pemanasan yang paling ekstrim, yang tentunya berakibat pada pengkasaran dari endapan karbida dan fasa marenisit. Kekerasan tertinggi yang dimiliki oleh daerah lasan juga dipengaruhi oleh kampuh las yang memiliki nilai kekerasan diatas baja sampel. Sedangkan nilai kekerasan pada daerah HAZ dan base metal yang semakin menurun disebabkan oleh populasi dari fasa karbida yang semakin sedikit, disamping itu morfologi dari fasa karbida tidak setajam pada daerah lasan.

### 5.7. HASIL PENGUJIAN LAJU AUS

Dari data hasil pengujian aus *As – Cast* didapat data – data sebagai berikut, nilai laju keausan baja perkakas dari A ( $1,753 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ ) ke B ( $2,164 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ ) kemudian ke C ( $2,642 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ ) mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan permukaan baja perkakas semakin banyak yang terabrasi. Abrasi dari material akibat beban *sliding* sangat dipengaruhi oleh kekerasan permukaan, beban abrasi dan laju abrasi. Untuk baja jenis D dan E laju abrasi mengalami penurunan, untuk baja jenis D laju abrasi  $1,671 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , untuk baja jenis E laju abrasi  $1,34 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . Kenaikan laju abrasi untuk baja perkakas jenis A,B,C dikarenakan permukaan baja perkakas untuk jenis A,B,C mengandung porositas - porositas mikro yang nantinya menjadi sumber terjadinya kegagalan, karena pada porositas - porositas tersebut akan menjadi sumber tegangan terbesar yang nantinya menjadi penyebab dari kegagalan pada material. Berdasarkan data sebelumnya bahwa nilai kekerasan baja perkakas *As – Cast* untuk tipe D, 40 HRC dan tipe E 36 HRC. Berdasarkan teori, mestinya baja perkakas E lebih banyak terabrasi dibandingkan baja perkakas jenis E, tetapi kenyataannya, baja perkakas jenis E yang lebih banyak terabrasi dari baja perkakas jenis D yaitu, laju aus untuk baja perkakas jenis E  $1,34 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$  dan laju aus untuk baja perkakas jenis D  $1,671 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . hal ini disebabkan oleh tingkat porositas dari baja perkakas jenis D lebih banyak dari baja perkakas jenis E.

Dari data hasil pengujian aus hasil perlakuan *Quench* dan *Temper* 600°C menunjukkan bahwa baja perkakas jenis A,B,C, memiliki laju keausan yang sesuai dengan nilai kekerasannya, yaitu laju keausan meningkat seiring dengan menurunnya nilai kekerasan dari material. Semakin rendah nilai kekerasan dari material maka laju keausan semakin tinggi. Semakin lunak suatu material maka semakin banyak material yang terabrasi. Untuk tempering 640°C diperoleh data – data bahwa nilai laju aus dari material mengalami kenaikan yaitu nilai laju keausan rata – ratanya 3,9 mm<sup>3</sup>/mm. Adapun laju keausan untuk temperatur 600°C adalah 2,9 mm<sup>3</sup>/mm. hal ini disebabkan karena terjadinya penurunan nilai kekerasan rata – rata dari baja perkakas hasil temper 640°C, jika dibandingkan dengan nilai kekerasan dari material temper 600°C. hal ini sesuai dengan kaidah bahwa semakin lunak suatu material maka semakin banyak material yang terabrasi. Untuk nilai laju aus material baja perkakas hasil temper 690°C, diperoleh nilai laju keausan rata – rata 3,8 mm<sup>3</sup>/mm. Hal ini disebabkan oleh adanya partikel keras karbida VC<sub>4</sub>, Mo<sub>x</sub>C<sub>y</sub>, Ni<sub>x</sub>C<sub>y</sub>, Cr<sub>x</sub>C<sub>y</sub>, yang bersifat keras, endapan tersebut mulai muncul pada temperature 680°C sampai temperatur 710°C. Endapan – endapan karbida tersebut berfungsi mempertahankan kekerasan dan kekuatan dari material baja perkakas dari beban – beban mekanis, seperti indentasi, tarik, sliding dan dampak. Walaupun demikian karbida – karbida keras tersebut bersifat getas, dan dapat menyebabkan terjadinya degradasi karakter dari material, seperti *stress corrosion cracking*, maupun *intergranular corrosion*.

Untuk laju keausan material hasil perlakuan spheroid anneal, rata – rata 2,4 mm<sup>3</sup>/mm. Nilai laju keausan ini apabila dibandingkan dengan nilai laju keausan akibat perlakuan *quench temper* adalah paling kecil, hal ini disebabkan material baja perkakas lebih ulet dibandingkan material baja perkakas hasil *quench* dan *temper*. Material baja perkakas hasil *spheroid anneal*, memiliki butiran yang lebih membulat dibandingkan material baja perkakas hasil *quench* dan *temper*, sehingga material hasil *spheroid anneal* menjadi lebih ulet dari hasil perlakuan *quench temper*, sehingga material hasil perlakuan *spheroid anneal* menjadi lebih ulet, dan tentunya menjadi lebih sulit terabrasi akibat dari beban *sliding*. Disamping butiran yang membulat, ukuran dari butiran juga berpengaruh terhadap keuletan, dan kekerasan dari material. Semakin kecil ukuran butiran maka material menjadi

semakin ulet, semakin keras dan semakin kuat sehingga semakin sulit pula untuk terabrasi.

### 5.8. HASIL PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

Dari pengamatan hasil foto struktur mikro menunjukkan bahwa untuk material baja perkakas hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk pembesaran 500X terlihat adanya fasa karbida yang berbentuk jarum. Disamping itu terdapat pula sedikit fasa ferit yang ditunjukkan oleh bulatan – bulatan berwarna putih. Fasa martensite nampak begitu jelas untuk baja perkakas jenis C. Hal ini disebabkan preparasi sampel berjalan optimal sehingga larutan etsa berhasil bereaksi optimal dengan batas butir, sehingga fasa *martensite* begitu nampak jelas terlihat.

Dari hasil pengamatan struktur mikro baja perkakas hasil tempering paduan A 600°C dengan pembesaran 500x, terlihat bahwa fasa *martensite* yang semula berbentuk jarum kemudian berubah menjadi fasa *martensite* yang bermorfologi halus, tumpul dan agak membulat. Fasa ferit nampak begitu jelas terlihat disela – sela fasa *martensite*, walaupun jumlah fraksi volume nya sedikit. Untuk material baja perkakas hasil tempering paduan A 640°C terlihat bahwa aglomerasi karbida nampak begitu jelas pada matriks butir. Disamping itu, terlihat bahwa fasa martensit nampak begitu halus, tumpul dan lebih membulat jika dibandingkan dengan hasil tempering 600°C, dengan fasa ferit disela – selanya dengan fraksi volume yang sedikit. Dari hasil pengamatan struktur mikro untuk baja perkakas dengan perlakuan *tempering* paduan A 690°C, diperoleh struktur mikro berupa fasa *martensite* yang sangat halus, karbida – karbida pada matriks butir yang teraglomerasi dengan halus, dimana disela – selanya terdapat fasa ferit dengan fraksi volume yang sedikit.

Struktur mikro paduan B dengan *tempering* baja perkakas tipe B 600°C, perbesaran 500X, ditemukan fasa *martensite* yang tersebar dibutir, endapan – endapan karbida, sedikit fasa ferit yang tersimpan di sela – sela fasa *martensite*. Fasa *ferrite* ini bersifat ulet, tetapi kekuatan tariknya jauh lebih rendah apabila dibandingkan dengan nilai kuat tarik dari fasa *martensite*. Stuktur mikro baja perkakas B hasil tempering 640°C menunjukkan bahwa fasa *martnsite* jelas terlihat di matriks butir, endapan karbida, dan fasa *ferrite* dengan fraksi volume sekitar 5%. Jika dibandingkan dengan hasil tempering 600°C, maka fasa *martensite* yang

dihasilkan lebih halus dan lebih tumpul. Sehingga keuletan dan kekuatan dari baja perkakas tipe B dengan tempering 640°C adalah lebih tinggi dari baja perkakas tipe A dengan perlakuan tempering 600°C. Dari hasil pengamatan struktur mikro hasil *tempering* 690°C, menunjukan bahwa fasa *martensite* baja perkakas lebih halus lagi apabila dibandingkan dengan hasil *tempering* 690°C. Disamping itu, endapan – endapan karbida juga tersebar lebih halus, fasa *ferrite* yang tersebar dalam matriks butir baja perkakas hasil tempering 690°C lebih membulat dengan fraksi volume 5%.

Struktur mikro dari paduan C dengan tempering 600°C dan pembesaran 500X, menghasilkan fasa – fasa *martensite*, *ferrite* dengan fraksi volume 5%, disamping itu dijumpai sementit, yang diselingsi oleh fasa *ferrite*, dan karbida – karbida atau endapan fasa kedua.

Dari hasil tempering 640°C, paduan C, diperoleh fasa – fasa *martensite* yang tersebar dengan halus, diselingsi oleh fasa – fasa *ferrite*, dan endapan – endapan fasa – fasa kedua yang berfungsi menghalangi pergerakan dislokasi sehingga memperkuat material baja perkakas.

Dari hasil pengamatan untuk hasil *quench tempering* baja perkakas tipe C 690°C, diperoleh fasa – fasa *martensite* yang tersebar sangat halus, *ferrite* yang terkumpul menjadi satu dalam volume yang besar, sehingga menambah keuletan dari material baja perkakas, disamping itu terdapat karbida – karbida yang tersebar sangat halus didalam matriks paduan baja perkakas, karbida – karbida tersebut berfungsi menghalangi pergerakan dislokasi, yang nantinya akan memperkuat dari material baja perkakas.

Dari hasil pengamatan baja perkakas paduan D 600°C, diperoleh fasa – fasa yang muncul yaitu *martensite* yang tersebar secara halus, fasa *ferrite* dalam volume fraksi 5%, dan sedikit endapan – endapan karbida yang memperkuat dan memperkeras dari baja perkakas, dikarenakan endapan – endapan karbida tersebut akan menghalangi pergerakan dislokasi.

Dari hasil pengamatan baja perkakas paduan D 640°C, diperoleh fasa – fasa yang muncul yaitu *martensite* halus, *ferrite* yang berwarna putih, dan berkelompok dalam jumlah besar, sejumlah karbida halus yang berfungsi

menghalangi pergerakan dislokasi yang nantinya memperkuat material baja perkakas.

Dari hasil pengamatan baja perkakas D tempering 690°C diperoleh fasa – fasa yang muncul yaitu *martensite* halus, *ferrite*, karbida – karbida halus, yang berfungsi menghalangi pergerakan dislokasi sehingga memperkuat logam.

Dari hasil pengamatan baja perkakas E, dengan perlakuan *quench temper* 600°C, diperoleh data – data bahwa diperoleh fasa martensit berbentuk serpih halus, endapan – endapan fasa kedua yang teraglomerasi dengan halus, diselingi dengan fasa *ferrite* dengan volume fraksi 8%. Fasa *ferrite* berfungsi untuk memperulet baja perkakas.

Struktur mikro dari paduan E, dengan perlakuan *quench temper* 640°C, diperoleh data – data bahwa diperoleh fasa martensit yang tersebar lebih halus dari hasil tempering 600°C, disamping itu diperoleh fasa *ferrite* dengan volume fraksi 8% yang tersebar dalam matriks baja perkakas, disamping itu diperoleh endapan – endapan karbida yang tersebar dalam matriks butir dalam bentuk yang lebih halus, endapan – endapan karbida itu berfungsi memperkuat baja perkakas.

Struktur mikro dari baja perkakas tipe E, dengan temperatur *tempering* 690°C, menghasilkan fasa *martensite* yang tersebar sangat halus yang tersebar dalam matriks butir, fasa *ferrite* yang tersebar sangat halus, dan endapan – endapan karbida yang tersebar sangat halus pada matriks butir yang berfungsi menghalangi pergerakan dislokasi sehingga logam menjadi lebih kuat dan lebih ulet.

Dari hasil pengamatan struktur mikro baja perkakas hasil perlakuan *spheroid anneal* tipe A,B,C,D,E, diperoleh data – data yaitu fasa yang tersebar dengan halus adalah *martensite*, *ferrite* dengan fraksi volume 10%, endapan – endapan karbida yang tersebar secara halus, disamping itu diperoleh bentuk butir dengan morfologi yang lebih membulat dan halus yang nantinya akan memperkuat baja perkakas hasil dari pengujian.