

# PENGARUH PERLAKUAN SPHEROIDIZED ANNEAL 810°C DAN QUENCH TEMPER 600°C, 690°C TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA PERKAKAS TUANG UNTUK APLIKASI OTOMOTIF

**Abdul Aziz**

Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Banten  
Email : mang\_azis@yahoo.com

## ABSTRAK

Pada penelitian ini, material baja perkakas diatur komposisi paduannya dengan menambahkan unsur paduan Si yang berbeda yaitu 0,8%wt, 2,0%wt, dan 3,0%wt Si pada setiap material baja perkakas, dengan unsur paduan lainnya ditambahkan dengan perbandingan tetap. Setiap material baja perkakas tidak diberikan unsur *vanadium*, hal ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan sifat mekanis tanpa ditambahkan unsur paduan *Vanadium*. Kemudian baja perkakas tersebut dilakukan perlakuan *spheroid anneal* dan *quench temper* dengan penggunaan temperatur temper yaitu 600°C, 690°C dan temperatur spheroid anneal 810°C. Dari penambahan unsur paduan dan perlakuan panas tersebut dapat diketahui pengaruhnya terhadap sifat mekanis, yaitu sifat mekanik, serta struktur mikro material baja perkakas. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik sampel C>D>E>B>A. Hal ini sebanding dengan morfologi fasa martensit dan karbida seperti yang terekam dari hasil pengamatan struktur mikro, dimana semakin kasar fasa martensit dan karbida maka nilai kekuatan tariknya ternyata lebih rendah apabila dibandingkan dengan fasa martensit dan karbida dengan morfologi yang lebih halus.

**Kata kunci:** Baja Perkakas, Martensit, Kekuatan Tarik, Karbida, Perlakuan Panas.

## ABSTRACT

*In these research, tool steels materials added silicon as its main composition : 0,8%wt, 2,0%wt and 3,0% wt for each samples of tool steels materials. The other alloys added to tool steel materials with constant amount of composition. For every tool steels materials did not given vanadium element as its alloys, to know the mechanical properties for each tool steels materials without vanadium alloys. As – cast tool steels alloys given quench temper treatment with use 600°C, 690°C and spheroid anneal 810°C . The samples that have been quench temper and spheroid anneal treatment characterized with mechanical and microstructure test. The results of these reserch shows that tool steels sample alloys have tensile strength of samples C>D>E>B>A. These condition equals to the morphology of martensites phase and carbide presipitates that the more rough of morphology will cause lower in mechanical properties of tool steels materials.*

**Keywords:** Tool Steels Martensite, Tensile Strength., Carbide, Heat Treatment.

## 1.PENDAHULUAN

Aplikasi dari baja perkakas berkembang cukup pesat seiring dengan perkembangan di dunia industri, terutama di bidang manufaktur dalam aplikasi  *mold* dan  *dies*. Adapun baja perkakas dapat dikategorikan menjadi enam antara lain :  *cold work*,  *shock resisting*,  *hot work*,  *high speed*, dan  *special purpose tool steel*. diantara semuanya  *cold work tool steel* merupakan jenis baja perkakas yang paling penting, mereka banyak digunakan pada berbagai jenis perkakas dan cetakan, serta aplikasi lainnya yang memerlukan kekuatan, kekerasan, ketahanan aus yang tinggi dan murah. [Andi Setiawan,2002].

Penelitian ini sangat penting untuk dilakukan, dikarenakan dalam dunia industri masih menggunakan baja perkakas dengan paduan utama molibdenum dan vanadium sebagai karbida penguat. Padahal, karbida penguat molibdenum dan vanadium sangat mahal. Dalam penelitian ini dikembangkan baja perkakas dengan karbida penguat silikon. Karbida silikon diharapkan dapat berperan sebagai karbida penguat yang berfungsi sama dengan molibdenum. Kelebihan dari penggunaan silikon sebagai karbida penguat adalah murah, sehingga diharapkan diperoleh baja perkakas yang murah namun memiliki sifat mekanik yang setara dengan baja perkakas berpaduan molibdenum dan vanadium.[ASM Vol 9, 2004].

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan baja perkakas model baru tanpa paduan Molibdenum dan Vanadium, namun memiliki sifat mekanik, laju aus dan struktur mikro yang diharapkan minimal setara dengan baja perkakas yang mempergunakan Molibdenum dan Vanadium sebagai paduan.[Avner, Sydney.1994].

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Baja Perkakas Model Baru

Penggunaan baja perkakas berkembang sangat pesat seiring dengan perkembangan di dunia industri, terutama di bidang manufaktur dalam aplikasi *mold* dan *dies*. Baja perkakas dapat dikategorikan menjadi enam antara lain : *cold work*, *shock resisting*, *hot work*, *high speed* dan *special purposes tool steel*. Diantara semuanya *cold work tool steel* merupakan jenis baja perkakas yang paling penting, mereka banyak digunakan pada berbagai jenis perkakas dan cetakan serta aplikasi lainnya, hal ini dikarenakan memiliki ketahanan aus yang tinggi dan murah.[B.H. Kim at All,1998].

Penggunaan baja perkakas dalam aplikasi berbagai cetakan selalu diharapkan menghasilkan cetakan dengan kualitas yang baik untuk menghasilkan produk – produk yang juga berkualitas tinggi. Teknologi yang digunakan oleh industri – industri ini mulai dari yang sederhana hingga yang paling moderen. Hasil riset senantiasa menghasilkan produk - produk baru dengan kualitas yang lebih baik. [Degarmo, at all, 2003].

Baja perkakas berdasarkan aplikasinya terbagi menjadi empat kelompok, diantaranya adalah : Baja perkakas pengerjaan dingin (*cold work tool steel*), baja perkakas pengerjaan panas (*hot work tool steel*), *high speed tool steel* dan *special purposes tool steel*. [www.interalloy.com,2008].

### 2.2. Baja perkakas Pengerjaan Dingin (*Cold Work Tool Steel*).

Jenis baja perkakas ini dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok tergantung dari proses pengerasannya yang terjadi.

#### 1. *Water – hardening tool steel*

- Simbol : Tipe W
- Baja karbon(1%) dengan sedikit atau tanpa penambahan unsur paduan (V dan Cr).
- Memiliki sifat *hardenability* yang rendah.
- Pada proses pengerasannya, baja karbon pada temperatur *austenite* di *quench* dengan media air.

#### 2. *Oil – hardening tool steel*

- Simbol : tipe O
- Di *quench* dengan media oli.
- Mengandung kadar karbon antara 0,9% - 1,5% dengan penambahan paduan dalam jumlah kecil misalnya W, Mn, Cr dan Mo.
- Memiliki sifat *hardenability* lebih baik daripada di *quench* dengan air.
- Digunakan untuk *cold forming dies*, *blanking dies* dan *gages*. [www.efunda.com,2008].

#### 3. *Air – hardening tool steels*.

- Simbol : Tipe A
- Mengandung karbon sebesar 1% dengan paduan utamanya : Mn, Cr, dan Mo.
- Proses pengerasannya dengan pendinginan di udara terbuka.
- Memiliki sifat tahan aus dan perubahan dimensi yang kecil.

#### 4. *High carbon high chromium*.

- Simbol : tipe D
- Mengandung 1 – 2,3% C; 12 – 14% Cr, dan sedikit V, Mo, W dan Co.

- Memiliki sifat tahan aus yang tinggi.[15]
- Dapat ditingkatkan kekerasannya dengan media air atau oli.

### 2.3. Baja Perkakas Pengerjaan Panas (*Hot Work Tool Steel*).

- Simbol : tipe H
- Baja perkakas jenis ini digunakan untuk proses *hot working* seperti *stamping* dan *drawing*.
- Memiliki sifat mekanis seperti : Kekuatan tinggi, tahan aus, ketangguhan tinggi dan tahan terhadap temperatur tinggi.

### 2.4. Baja Perkakas Kecepatan Tinggi (*High Speed Tool Steel*).

- Memiliki kekerasan tinggi pada temperatur diatas 550°C.
- Digunakan sebagai alat potong dengan kecepatan tinggi.
- Memiliki ketahanan aus yang tinggi dan mampu potong dengan baik.
- Berdasarkan elemen paduannya terbagi menjadi dua kelompok :
  1. *Tungsten high speed steels* (Tipe T),  
Mengandung kadar tungsten yang tinggi disertai penambahan Cr, V, dan Co.
  2. *Molybdenum steel* (Tipe M), mengandung *molybdenum* dengan kadar tinggi disertai penambahan W, Cr, V dan Co.

### 2.5. Baja Perkakas Khusus (*Special Purpose Tool Steel*).

Baja perkakas ini terbagi menjadi empat, diantaranya :

#### 1. Tipe S (*Shock Resisting Tool Steels*)

- Baja karbon medium (0,5% C) dengan elemen paduan Si, Cr dan W.
- Sifat mekanisnya adalah : kekerasan yang tinggi, tahan aus, tahan terhadap impak.
- Diaplikasikan untuk pahat, palu, dan pisau.

#### 2. Tipe L (*Low – Alloys Tool Steel*)

- Mempunyai kesamaan dengan *water hardening tool steel*.
- Paduan utamanya adalah *chromium*.
- Digunakan untuk membuat alat yang membutuhkan ketahanan aus dan ketangguhan yang tinggi.

#### 3. Tipe F (*Carbon Tungsten Tool Steels*).

- Baja karbon tinggi dengan *tungsten* sebagai paduannya.
- Memiliki sifat tahan aus dan abrasi.
- Digunakan untuk membuat peniti, alat pemoles atau *taps*.

#### 4. Tipe P (*Moulds Steels*).

- Baja karbon rendah dengan paduan berupa Cr dan Ni .[info.lu.farmingdale.edu,2008].

Sifat material yang diinginkan adalah material yang memiliki sifat mekanik setara dengan material baja perkakas SKD 11, tetapi tanpa Molibdenum dan Vanadium . Dalam pembuatan material baja perkakas baru, dihilangkannya Molibdeunm dan Vanadium, namun keberdadaan Molibdenum dan Vanadium diganti dengan Silikon. Diharapkan, silikon akan mampu membentuk karbida – karbida keras yang nantinya memiliki sifat mekanik yang setara dengan baja perkakas yang memakai paduan Molibdenum dan Vanadium.[Krauss, George,1977].

Perlakuan panas *quench temper* bertujuan untuk merekayasa material baja perkakas agar memiliki fasa martensit dominan, dan endapan karbida dapat tumbuh dengan halus. Fasa martensit sendiri adalah fasa yang keras namun getas. Endapan – endapan karbida yang diharapkan muncul berfungsi sebagai *dispersion strengthening* atau dapat juga berfungsi sebagai *secondary phase strengthening* (endapan fasa kedua). Endapan fasa kedua tersebut berfungsi untuk menguatkan baja perkakas, dengan cara menghalangi pergerakan dislokasi. Dislokasi yang terhalang dapat menguatkan suatu material.[tppinfo.com,2008].

Perlakuan *quench temper* dimulai dengan pemanasan sample baja perkakas pada temperature 920°C, kemudian didinginkan dengan cepat dengan berbagai media, seperti oli air atau udara. Semakin tinggi kecepatan pendinginan maka martensit yang terbentuk semakin kasar. Semakin kasar dari martensit yang terbentuk, maka material semakin getas. [info.lu.farmingdale.edu,2008].

Salah satu media pendinginan dari baja perkakas adalah udara. Material baja perkakas didinginkan dengan media udara. Pendinginan baja perkakas dengan media udara diharapkan akan

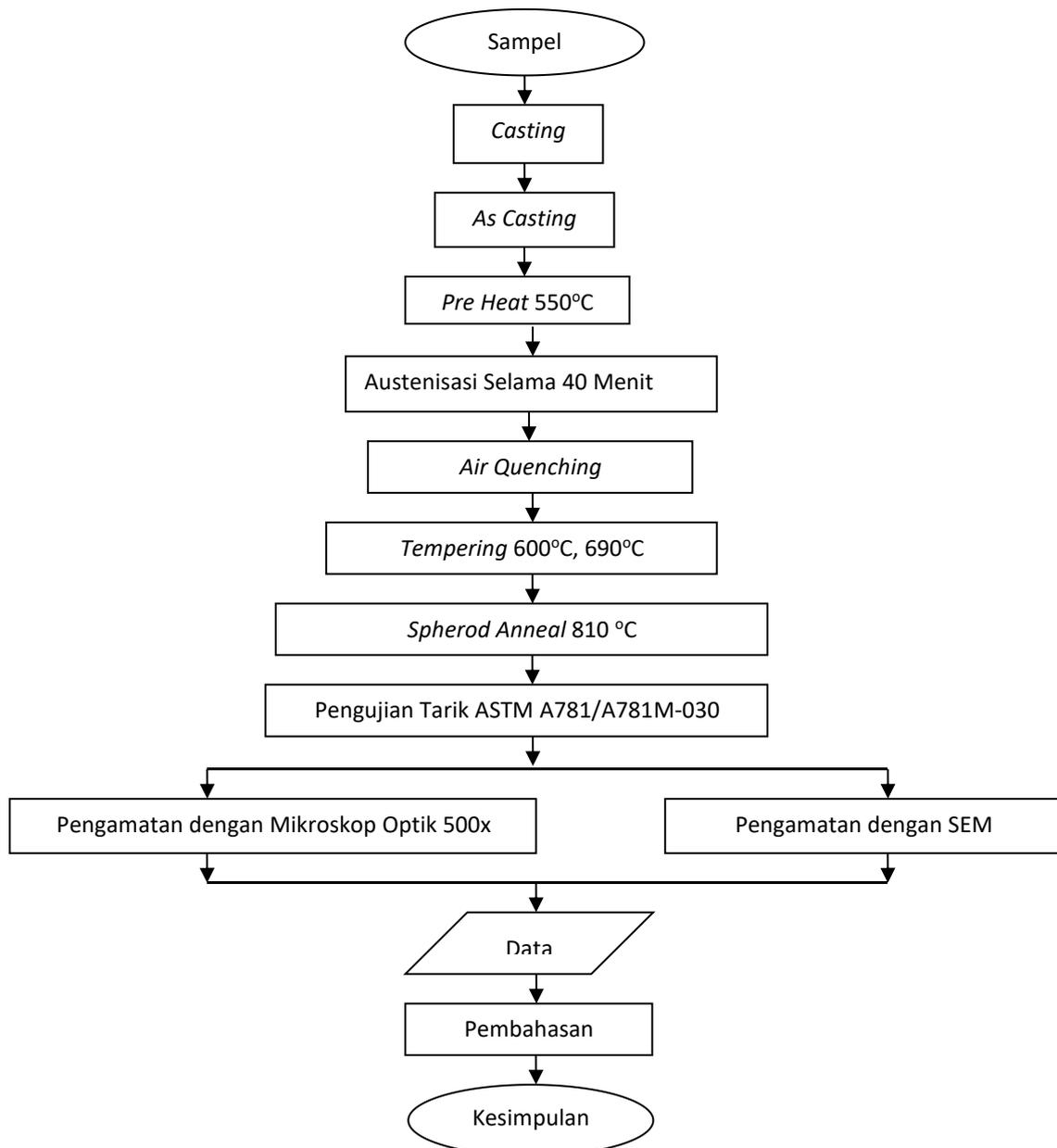
menghasilkan martensit yang cukup halus, sehingga cukup efektif dalam menghalangi pergerakan dislokasi yang berfungsi untuk memperkuat material.[WJ.Nam at All,1998].

Tempering berfungsi untuk meperlunak fasa martensit. Diharapkan baja perkakas yang telah ditempering menghasilkan baja perkakas yang kuat, keras dan lunak, sehingga menghasilkan elongasi yang lebih baik apabila dibandingkan dengan fasa martensit yang belum di temper. Tempering akan memperhalus karbida yang terdispersi, semakin halus karbida yang terdispersi maka material baja perkakas akan semakin kuat dan semakin keras. Tempering pada temperatur 600°C, 690°C, diharapkan akan menghasilkan karbida yang paling halus.[www.msm.ac.uk].

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan persiapan benda uji material yaitu berupa baja perkakas dan sejumlah paduan silikon serta paduan lainnya, kemudian dilakukan peleburan dan di cetak dalam cetakan pasir. Dari hasil cetakan pasir, dapat diperoleh sample *as – cast*. Sample *as – cast* kemudian di austenisasi pada suhu 920°C selama 40 menit, kemudian di lakukan pendinginan cepat setelah itu di temper pada temperatur 600°C selama 240 menit dan di Spheroid Anneal 810°C selama 60 menit kemudian didinginkan di udara. Sebelum di austenisasi, sampel terlebih dahulu di *pre-heat* selama 10 menit dengan temperatur 550°C.

Standar pengujian tarik yang dilakukan adalah ASTM A 781/ A781 M – 03a.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### IV.1. Pengujian komposisi kimia

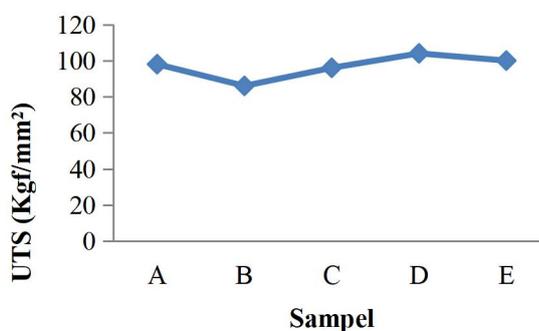
Untuk mengetahui komposisi kimia dari sampel yang dibuat dengan uji *spectro* dihasilkan komposisi silikon dalam jumlah rata – rata 0,5% sebagai paduan utama.

### IV.2. Data Hasil Pengujian Tarik Temper 600°C.

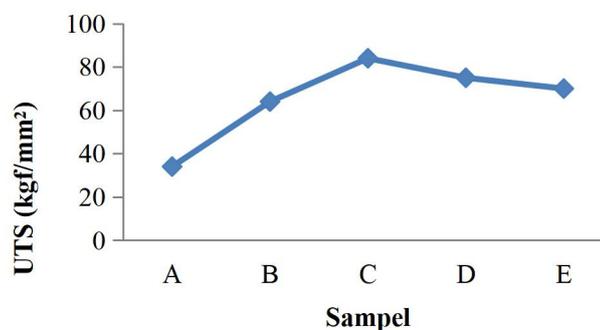
Temperatur Temper	Sampel	UTS (kg/mm <sup>2</sup> )
600°C	A	34
600°C	B	64
600°C	C	84
600°C	D	75
600°C	E	70

### IV.3. Data Hasil Pengujian Tarik Spheroid Anil 810°C.

Temperatur Temper	Sampel	UTS (kg/mm <sup>2</sup> )
810°C	A	98
810°C	B	86
810°C	C	96
810°C	D	104
810°C	E	100



Gambar 2 . Nilai Kekuatan Tarik Sampel Spheroid Anil



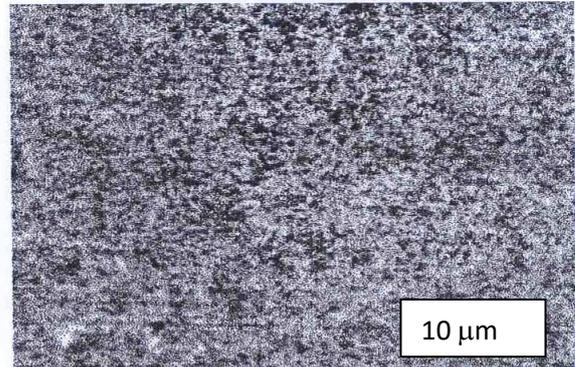
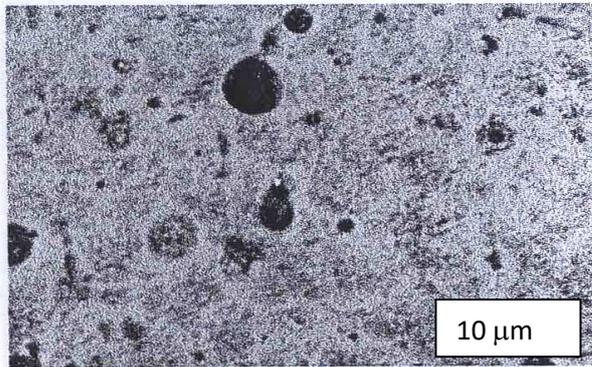
Gambar 3. Nilai Kekuatan Tarik Sampel Temper 600°C.

Dari hasil pengujian tarik sampel (gambar 2.). yang telah mengalami tempering 600°C, diperoleh untuk sampel A nilai kekuatan tariknya 37 kg/mm<sup>2</sup>, sampel B 20 kg/mm<sup>2</sup>, Sampel C 29 kg/mm<sup>2</sup>, sampel D 17 kg/mm<sup>2</sup>, sampel E 24 kg/mm<sup>2</sup>. Jika diurut dari sampel dengan nilai kekuatan tarik terendah sampai yang tertinggi yaitu A < C < E < B < D. Rendahnya nilai kekuatan tarik sampel A dikarenakan rendahnya kadar silikon yaitu sebanyak 0,88% dan kadar kromium 1,5 % serta kadar mangan (Mn) 1,077%. Silikon, kromium dan mangan merupakan unsur – unsur pembentuk karbida

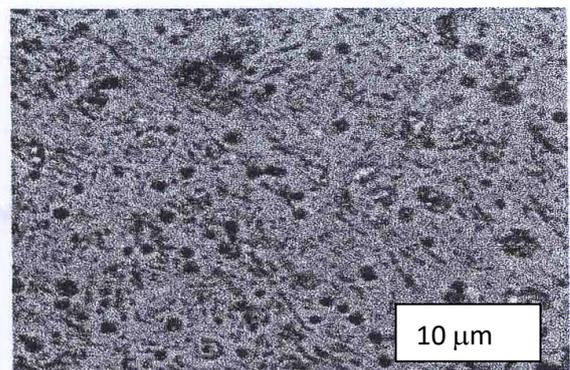
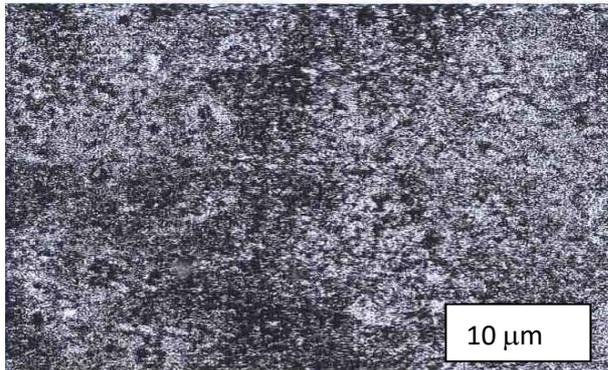
yang berfungsi menghalangi pergerakan dislokasi. Semakin banyak dislokasi yang terhalang akan membuat material menjadi semakin kuat. Jika diteliti dari data sampel hasil uji spektroskopi, terlihat bahwa kadar silikon, kromium dan mangan bernilai rendah jika dibandingkan dengan material berjenis : B, C, D, E. Penemperan sampai temperatur 600°C, masih belum maksimal dalam hal pengkasaran karbida didalam matriks sampel paduan baja perkakas, sehingga pengkasaran karbida yang masih belum optimal ini, masih tetap mempermudah dari perjalanan dislokasi, sehingga nilai kekuatan tarik dari sampel A masih tetap rendah.

Nilai kekuatan tarik yang makin meninggi untuk sampel B, E, D dan C, dikarenakan pengkasaran karbida yang semakin optimal, sehingga semakin efektif menjadi faktor penghalang dari pergerakan dislokasi. Dislokasi yang terhalang akan menguatkan material. Jika dilihat dari aspek unsur paduan, maka untuk sampel B,E,D dan C, memiliki kadar silikon, kromium dan mangan yang semakin meninggi. Kadar paduan unsur pembentuk karbida yang semakin meninggi tersebut akan memperbesar potensi terbentuknya endapan – endapan karbida yang efektif dalam hal menghalangi pergerakan dislokasi.

Dari pengamatan struktur mikro diperoleh bahwa morfologi karbida sampel A adalah paling kasar dan menggumpal dibandingkan morfologi karbida – karbida pada material paduan B, E, D dan C. Karbida yang menggumpal dan kasar tidak begitu efektif dalam menghalangi pergerakan dislokasi. Dislokasi yang terhalang akan menguatkan material benda uji.



**Gambar 4. Foto Struktur Mikro Sampel B 600°C. 500X** **Gambar 5. Foto Struktur Mikro Sampel C 600°C. 500X**



**Gambar 6. Foto Struktur Mikro Sampel A 600°C.500X.** **Gambar 7. Struktur Mikro Sampel D 600°C.500X.**



### Gambar 8. Struktur Mikro Sampel E.600°C. 500X

Fenomena perubahan sifat mekanik salah satunya disebabkan oleh *coarse* sementit yang relative kasar digantikan oleh *disperse* karbida yang lebih halus. Fenomena ini hanya terjadi pada baja paduan yang mengandung unsur paduan berbentuk karbida yang kuat, yaitu Cr, V, W, Mo, dan Ti. Jika temperatur temper dinaikan maka kekerasan akan menurun dikarenakan energi yang diberikan akan membuat pengkasaran karbida sehingga karbida akan semakin membesar.

Mekanisme *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 berbentuk karbida yang kuat, yaitu Cr, V, W, Mo, dan Ti.

dengan diberlakukannya perlakuan panas *quench temper*, maka nilai *Ultimate Tensile Stress* (UTS) yang dimiliki baja perkakas semakin tinggi, hal ini mengakibatkan baja perkakas memiliki nilai kekuatan tarik semakin tinggi dan akan turun kembali setelah melewati titik maksimum, titik maksimum dari UTS tersebut dikarenakan adanya hubungan dengan keberadaan karbida pada *tempering* temperatur rendah *primary* martensit yang 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 matriks dan secara simultan ruang antar partikel akan menurun dan akan meningkatkan nilai UTS pada titik optimum. Tingginya nilai UTS, dikarenakan ada pengaruh *solid solution strengthening* akibat dari penambahan Silikon (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 akan 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 dimana memiliki dua fasa yaitu fasa ferit dan fasa martensit temper.

Dari hasil pengamatan metalografi untuk sampel A (Gambar 6.) diperoleh data bahwa gumpalan karbida dan morfologi karbida adalah yang paling kasar dibandingkan sampel – sampel yang lain. Gumpalan karbida yang kasar tersebut akan mengakibatkan pada lemahnya material, dalam hal ini menghasilkan nilai kekuatan tarik yang paling rendah dibandingkan dengan kurva – kurva yang lainnya. Gumpalan karbida serta morfologi karbida yang kasar tidak begitu efektif dalam upaya untuk menghalangi pergerakan dislokasi, yang mana dengan terhambatnya pergerakan dislokasi akan memperkuat material. Mekanisme seperti ini disebut juga dengan pengerasan endapan. Untuk sampel B (Jika diamati maka sampel B (Gambar 4.). memiliki morfologi yang lebih lembut dari sampel A, dan gumpalan karbida pada sampel B lebih halus jika dibandingkan dengan sampel A. Dengan demikian apabila di tinjau dari aspek metalurgi maka sampel B lebih kuat dari sampel A. Dikarenakan dalam hal kemampuan menghalangi pergerakan dislokasi maka sampel B lebih efektif dari sampel A. Jika dibandingkan antara paduan B dengan paduan A, maka gumpalan karbida paduan B lebih halus dari paduan A, sehingga dapat dikatakan karbida pada paduan B lebih tersebar merata apabila dibandingkan dengan gumpalan karbida paduan A. Endapan karbida cukup efektif dalam menghalangi pergerakan dislokasi, yang tentunya akan berakibat dalam hal pertambahan kekuatan logam.

Apabila dibandingkan antara baja perkakas jenis B dengan baja perkakas jenis E, maka secara morfologi, endapan karbida pada paduan E lebih halus apabila dibandingkan dengan endapan karbida jenis B. Keadaan bahwa paduan E memiliki endapan karbida yang lebih halus dari paduan B, akan mengakibatkan karbida pada paduan E menjadi lebih efektif dalam hal menghalangi pergerakan dislokasi sehingga dapat dikatakan bahwa paduan E lebih kuat dari paduan B dan paduan A. Untuk paduan E, disamping memiliki gumpalan karbida yang lebih halus, juga memiliki sebaran karbida yang lebih halus pula, apabila dibandingkan dengan paduan A dan B. Sebaran karbida yang lebih halus tersebut akan meningkatkan kekuatan tarik dari baja perkakas.

Untuk paduan D, apabila dibandingkan dengan paduan A, B, dan E, maka paduan D memiliki gumpalan endapan karbida yang lebih halus apabila dibandingkan dengan baja perkakas jenis A, B dan E. Dengan demikian, karbida pada paduan jenis D akan lebih efektif dalam hal menghalangi pergerakan dislokasi, sehingga dapat dikatakan bahwa paduan jenis D lebih kuat dari paduan jenis A, B dan E. Disamping itu, secara morfologi bahwa paduan jenis D memiliki karbida yang tersebar lebih

halus dari paduan jenis A,B dan E. Hal ini juga akan mengakibatkan baja perkakas jenis D lebih kuat dari baja perkakas jenis A,B dan E.

Baja perkakas jenis C (Gambar 5.). memiliki kekuatan tarik yang tertinggi apabila dibandingkan dengan baja perkakas jenis A,B,E dan D. Hal ini disebabkan secara morfologi, gumpalan maupun endapan karbida tersebar paling halus, sehingga dapat dikatakan bahwa paduan C paling efektif dalam hal menghambat pergerakan dislokasi dibandingkan dengan jenis – jenis paduan lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa baja perkakas jenis C adalah baja perkakas paling kuat dibandingkan baja perkakas jenis lainnya. Disamping itu, baja perkakas jenis C, memiliki kadar karbon , silikon, kromium dan mangan yang tinggi. Tingginya unsur – unsur pembentuk karbida tersebut, akan memperbanyak jumlah karbida – karbida halus yang tersebar dalam matriks baja perkakas jenis C. Hal ini juga yang memperkuat alasan bahwa baja perkakas jenis C adalah yang paling kuat diantara baja perkakas jenis A,B,D dan E.

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. Penguatan karbida dapat disebut juga sebagai secondary hardening. secondary hardening sendiri adalah suatu fenomena yang merupakan bentuk reaksi pengerasan penuaan (age hardening), (Gambar 4.), apabila dibandingkan dengan sampel A, secara morfologi bahwa endapan karbida sampel B lebih halus apabila dibandingkan dengan sampel A. Begitu juga, gumpalan karbida yang terbentuk untuk sampel B lebih halus apabila dibandingkan dengan sampel A. Sehingga, secara teoritis bahwa sampel B memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih besar apabila dibandingkan dengan sampel A. Hal ini disebabkan endapan karbida pada sampel B lebih efektif dalam menghalangi pergerakan dislokasi apabila dibandingkan dengan sampel A.

Apabila dibandingkan bentuk morfologi karbida dari sampel D dengan sampel B, maka sampel D memiliki morfologi karbida yang lebih halus jika dibandingkan dengan sampel B. Disamping itu, gumpalan karbida pada sampel D lebih halus apabila dibandingkan dengan sampel B. Morfologi karbida dari sampel D tersebut akan mengakibatkan bahwa sampel D memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih besar jika dibandingkan dengan sampel B. Hal ini sesuai dengan data yang diperoleh dari hasil penelitian. Apabila dibandingkan antara sampel E (Gambar 8). dengan sampel D, maka sampel E memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih besar dari sampel D. Hal ini disebabkan karena, morfologi karbida sampel E lebih halus apabila dibandingkan dengan morfologi karbida sampel D, juga gumpalan karbida yang terbentuk pada sampel E lebih halus apabila dibandingkan dengan sampel D. (Gambar 7).

Data sampel uji tarik untuk sampel C (Gambar 3)., menghasilkan nilai kekuatan tarik yang tertinggi dibandingkan dengan data hasil uji tarik untuk sampel A,B,D dan E. Hal ini karena, secara morfologi bahwa endapan karbida pada sampel C adalah paling halus dibandingkan sampel – sampel yang lainnya. Juga, endapan karbida pada sampel C adalah paling halus dibandingkan sampel – sampel yang lainnya, sehingga secara teoritis dapat dikatakan bahwa data hasil pengujian tarik pada sampel C adalah yang tertinggi dibandingkan seluruh sampel data pengujian tarik yang lainnya.

## 5. SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan :

1. Baja perkakas model baru memiliki nilai kekuatan tarik setara dengan baja perkakas literatur.
2. Baja perkakas model baru memiliki struktur mikro yang setara dengan baja perkakas literature.
3. Baja perkakas model baru banyak mengandung karbida jenis SixCy.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook* Volume 9, Metallography and Microstructure (USA: ASM International, 2004).
- Avner, Sydney H, *Introduction to Physical Metallurgy*. Mc Graw Hill, Tokyo, 1994.
- B.H.Kim,, J.S.Shin, S.M.Lee, B.M.Moon, H.D.Kim, S.Y.Ju, O.Y.Choi, Effect of Si Content on Mechanical Properties of Mo and V Free Low Alloy Cast Steel For Automobile Cold Pressing Die. *Advanced Materials R&D Division*, Korea Institute of Industrial Technology, KOREA 2007.
- Degarmo, E. Paul; Black,J.T. & Kohser, Ronald A. (2003), *Materials and Processes In Manufacturing* (9th ed), Willey, ISBN 0-471-65653-4.
- Hartono,"Studi Pengaruh Temper Single dan Double Temper pada Temperatur 200OC dan 530oC Ketangguhan Baja XW-10 Untuk Aplikasi Material Dies", *Skripsi*, Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2002.
- Krauss, G. *Principal of Heat Treatment of Steel*, ASM, Ohio, 1977.
- Leslie, William. *The Physical Metallurgy of Steel* .Mc Graw Hill, Tokyo, 1981.
- R. A. Grange, C. R. Hribal, dan L. F. Porter. Hardness of Tempered Martensite in Carbon and Low Alloy Steel. *Metallurgy Transaction A*, Volume 8A, 1977-1978.
- RWK Honeycombe, *Steel Microstructure and Properties*, Edward Arnold, London, 1981. Laghtin, Yu Geller.Tool Steel, Min Publishers, Moscow,1978.
- Setiawan, A."Studi Pengaruh Temper Single dan Double Temper Pada Temperatur 200°C dan 530°C Terhadap Ketangguhan Baja Perkakas ASSAB 88 dan Baja XW-10 untuk Aplikasi Material Dies".*Skripsi*, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok,2002.
- Thelning, Karl E. *Steel and Its Heat Treatment*, BoforHandbook, Butterworths, Boston, 1984.
- W.J. Nam dan H.C.Choi, Effect of Si on Mechanical Properties of Low Alloy Steel. *Proquest Science Journal*, 1998.