

## **PENGARUH VARIASI WAKTU TAHAN DAN AUSTEMPER 400 ° C TERHADAP KARAKTERISTIK BESI TUANG NODULAR SETELAH PENAMBAHAN UNSUR PADUAN 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr**

**R. Djoko Andrijono\***

### **Abstrak**

Besi tuang nodular memiliki sifat mekanis yang baik dan mendekati sifat mekanis dan sifat fisik baja, seperti kekuatan tarik, regangan, kemampuan terhadap proses perlakuan panas, mampu meredam suara dan biaya produksi relatif lebih murah daripada baja, sehingga besi tuang nodular banyak digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan komponen mesin dan kendaraan otomotif. Perbaikan sifat-sifat mekanis agar sesuai dengan kebutuhan dapat juga diperoleh dengan penambahan unsur-unsur paduan seperti : *chromium* ( Cr ), *molybdenum* ( Mo ) dan *nickel* ( Ni ). Metode lain untuk meningkatkan sifat mekanis besi tuang nodular adalah dengan melakukan proses perlakuan panas austemper, sehingga menghasilkan besi tuang nodular austemper atau dikenal dengan sebutan *Austempered Ductile Iron* ( ADI ). Proses austemper diawali dengan austenisasi pada temperatur 800 ° C selama 60 menit, dilanjutkan dengan austemper pada temperatur 400 ° C dengan waktu tahan masing-masing 15, 30, 45 menit. Pengujian tarik, kekerasan dan pengamatan struktur mikro dilakukan untuk menganalisa hasil proses austemper. Berdasarkan hasil penelitian, bahwa temperatur pemanasan 800 ° C belum terjadi austenisasi, sehingga tidak terjadi perubahan fasa menjadi fasa austenit (  $\gamma$  ), akibatnya proses austemper 400 ° C yang dilakukan hanya mempengaruhi perluasan matrik ferit (  $\alpha$  ) atau terjadi anil feritisasi dan tidak terjadi pembentukan bainit pada besi tuang nodular dengan penambahan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni dan 0,2 % Cr. Hasil ini terlihat dari kenaikan nilai elongasi dengan penurunan sifat kekerasan.

Kata kunci : *besi tuang nodular austemper, temperatur, sifat mekanis.*

### **PENDAHULUAN**

Besi tuang nodular ( *ductile iron* ) atau *spheroidal graphite iron* = *SG iron* atau juga disebut *spherulit iron* mulai dikenal sejak tahun 1950 yang pada dasarnya merupakan kelompok besi tuang kelabu ( *grey cast iron* ). Total unsur karbon ( C ) pada besi tuang nodular sama dengan total unsur karbon ( C ) pada besi tuang kelabu, tetapi unsur sulfur ( S ) pada besi tuang nodular harus rendah (  $< 0,03$  % ). Untuk meningkatkan sifat mekanis besi tuang nodular dapat dilakukan dengan beberapa cara : melakukan penambahan unsur paduan dengan persentase tertentu, misalnya *molybdenum* ( Mo ), *nickel* ( Ni ), *chrom* ( Cr ) atau dapat juga dilakukan dengan proses perlakuan panas austemper atau *Austempered Ductile Iron* ( ADI ).

Penelitian ini bertujuan membandingkan perbedaan sifat kekuatan tarik dan kekerasan antara besi tuang nodular sebelum penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr dengan besi tuang nodular setelah penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr dan dilanjutkan proses austenisasi 800 ° C serta proses austemper 400 ° C dengan waktu tahan selama 15, 30, 45 menit.

Diharapkan hasil penelitian dapat memberikan informasi teknologi kepada kalangan industri manufaktur, khususnya dibidang proses pengecoran besi tuang nodular dan proses perlakuan panas austemper, sehingga dapat mengetahui serta mampu mengatasi permasalahan proses pengecoran yang terjadi sebelum produk diaplikasikan.

---

\* Dosen Jurusan Mesin Fak. Teknik Universitas Merdeka Malang

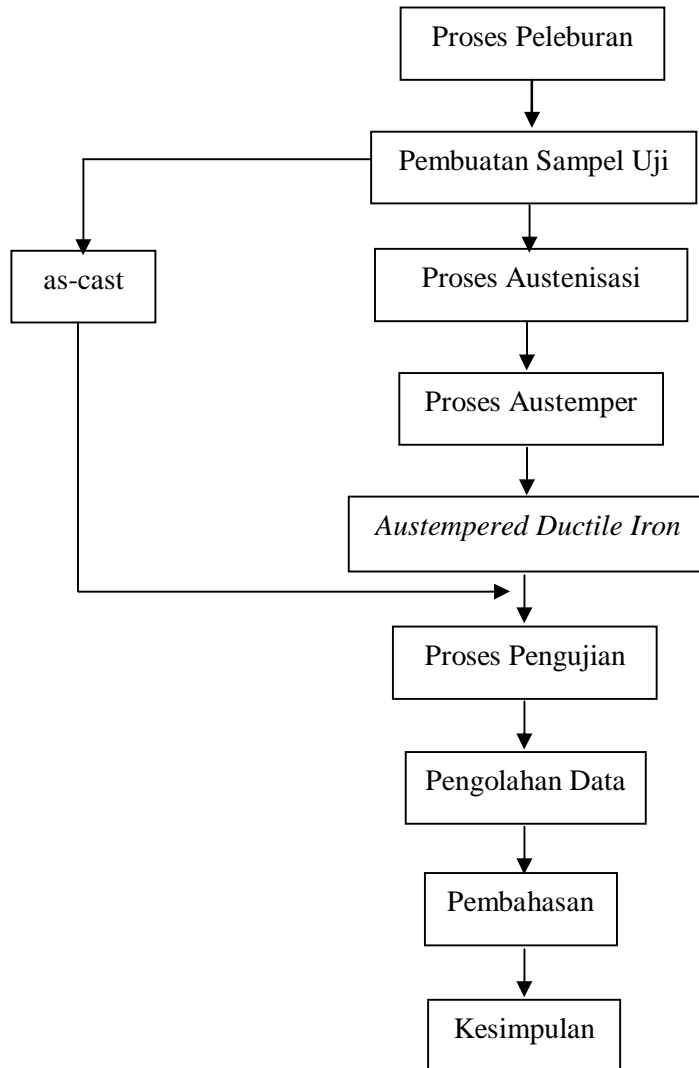
## KAJIAN PUSTAKA

Besi tuang nodular (*ductile iron*) adalah merupakan kelompok besi tuang (*cast iron*) yang mempunyai partikel grafit berbentuk bulat (*nodul*) yang diperoleh dengan cara menambahkan unsur pembulat grafit (*spheroidiser*), seperti unsur *magnesium* (Mg) ke dalam leburan besi tuang dalam proses perlakuan ladle (*ladle treatment*). Grafit yang berbentuk bulat di dalam besi tuang nodular menghasilkan kombinasi antara keuletan dan kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan besi tuang kelabu (*grey cast iron*) dengan berbentuk grafit serpih (*flake*), karena berkurangnya efek pemusatan tegangan (*stress concentration*) pada pertemuan antara permukaan grafit dengan matriknya.

Matrik besi tuang nodular terdiri dari matrik ferit ( $\alpha$ ), ferit-perlit ( $\alpha - \text{Fe}_3\text{C}$ ) atau perlit ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) seluruhnya dengan endapan grafit berbentuk bulat. Matrik yang terdapat pada besi tuang nodular mempunyai sifat keuletan (*ductile*) dan ketangguhan (*toughness*) yang lebih tinggi dibandingkan besi tuang kelabu (*grey cast iron*). Disamping mempunyai sifat keuletan dan ketangguhan yang tinggi, besi tuang nodular juga mempunyai sifat mampu mesin yang lebih baik dibandingkan dengan baja (*steel*), sehingga peranan besi tuang nodular dalam bidang rekayasa material semakin besar, karena sifat-sifatnya yang lebih baik daripada besi tuang kelabu (*grey cast iron*) dan baja (*steel*).

Unsur karbon (C) total pada besi tuang nodular sama dengan unsur karbon (C) total pada besi tuang kelabu (*grey cast iron*), tetapi unsur *sulfur* (S) pada besi tuang nodular harus rendah ( $< 0,03\%$ ). Unsur – unsur lain yang berpengaruh terhadap proses pembekuan besi tuang nodular adalah unsur *silicon* (Si). Jumlah oksigen yang terlarut juga sangat mempengaruhi terbentuknya grafit bulat, makin rendahnya kadar oksigen yang larut, maka makin baik proses pembentukan grafit bulat.

## METODOLOGI PENELITIAN



### Peralatan Penunjang Penelitian

Peralatan yang digunakan meliputi :

1. Mesin-mesin : *metallographic, Pregrinder, Polishing Machine, Etcher, Specimen Dryer, Mounting Press, Film Processing Aparatus, Shot Blast, Engine Lathe, Universal Testing Machine, Induction Furnace, Ladle.*
2. Peralatan lain : cetakan pasir pasah, *burner*, pola kayu, *alumina*, kertas gosok dengan grade # 200- # 1200, *thermocoulpe*, dapur proses perlakuan panas austemper ( metode *salt bath* ) terdiri dari dapur austenisasi dengan komposisi garam cair :  $\text{BaCl}_2 = 80 \%$  ,  $\text{NaCl} = 20 \%$  dan dapur austemper dengan komposisi garam cair :  $\text{NaNO}_3 = 45 \%$  ;  $\text{KNO}_3 = 545 \%$  .

### Variabel Pengujian :

1. Jenis material teknik : besi tuang nodular
2. Kapasitas ladle : 100 kg

3. Jumlah sampel uji :
  - a. uji kekuatan tarik : 24 buah
  - b. uji kekerasan : 24 buah
  - c. uji komposisi kimia : 2 buah
4. Temperatur austenisasi :  $800^{\circ}\text{C}$
5. Temperatur austemper :  $400^{\circ}\text{C}$
6. Temperatur saat tuang :  $1560^{\circ}\text{C}$
7. Unsur paduan : 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr

## **Batasan dan Metode Pengujian**

### **1. Uji komposisi kimia**

Uji komposisi kimia menggunakan mesin spektrometer standar *British Cast Iron Research Association* ( *BCIRA* ) dengan sampel uji berupa besi tuang putih ( *white cast iron* ), dimana sampel uji sebelum diuji terlebih dahulu permukaannya dilakukan proses pengamplasan, sehingga menghasilkan permukaan yang rata.

### **2. Uji Kekuatan Tarik**

Uji Kekuatan tarik menggunakan mesin uji tarik dengan beban maksimum 60 ton sampai sampel uji mengalami patah. Sampel uji yang dipakai berbentuk silindris dengan standar *ASTM A 536-84*. Tujuan pengujian kekuatan tarik untuk mengetahui perbedaan sifat kekuatan tarik antara besi tuang nodular sebelum penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr ( kondisi *as-cast* ) dengan besi tuang nodular setelah penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr dan dilanjutkan proses perlakuan panas austemper.

### **3. Uji Kekerasan**

Uji kekerasan memakai metode *Brinell* dengan indentor bola baja ( *steel ball* ) yang mempunyai diameter 2,5 mm dan beban 1840 N. Tujuan uji kekerasan untuk mengetahui perbedaan sifat kekerasan antara besi tuang nodular sebelum penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr ( kondisi *as-cast* ) dengan besi tuang nodular setelah penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr dan dilanjutkan proses perlakuan panas austemper.

### **4. Pengamatan Struktur Mikro**

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengamati fasa-fasa pada sampel uji (kondisi *as-cast* ) dan sampel uji yang telah mengalami proses perlakuan panas austemper. Proses pengamatan struktur mikro diawali proses penggerindaan pada mesin gerinda ( *grinder machine* ) dengan grade # 200, # 400, # 600, # 1000, # 1200 dan dilanjutkan proses pemolesan pada mesin poles ( *machine polisher* ) dengan menggunakan aluminium oxide ( *alumina* ). Sampel uji yang telah mengalami proses pemolesan, maka dilakukan proses pengetsaan dengan larutan *nital* 2 % ( 2 ml  $\text{HNO}_3$  dalam 98 ml alkohol ) dan setelah dietsa ditahan selama 2-3 detik,

kemudian selanjutnya dicuci dengan air ( H<sub>2</sub>O ) dan alkohol. Tahap akhir sampel uji yang telah mengalami proses pengetsaan, dilakukan proses pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop logam ( pembesaran 100 x dan 500 x ).

## Data Hasil Penelitian

### 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia

**Tabel 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Kondisi Besi Tuang Putih ( Chill )**

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Mo
%	3,97	2,92	0,04	0,04	0,40	0,14
Unsur	Ni	Cr	V	Cu	Ti	Sn
%	1,54	0,20	0,11	0,06	0,01	0,02
Unsur	Al	Pb	Ce	Mg	CE	Fe
%	1.54	0,02	27,2	0,07	4,97	89,3

### 2. Data Hasil Uji Kekuatan Tarik

**Tabel 2 Data Hasil Uji Kekuatan Tarik**

Kode	Nomor Sampel Uji	S <sub>ult</sub> rata-2 (kg/mm <sup>2</sup> )	e rata-2 (%)
C 000	1,2,3	61,69	6,54
C 841	1,2,3	66,45	14,70
C 842	1,2,3	65,60	15,20
C 843	1,2,3	64,54	11,80

Keterangan tabel 2 :

Pemberian kode dan nomor pada sampel uji kekuatan tarik terdiri dari : 1 huruf dan 3 digit angka.

Huruf pertama : menyatakan pemberian unsur paduan yang ditambahkan pada besi tuang nodular dengan kode C, karena menggunakan 3 unsur paduan terdiri dari : Mo, Ni, Cr.

Angka pertama : menyatakan temperatur austenisasi : angka 8 = 800<sup>0</sup> C.

Angka kedua : menyatakan temperatur austemper : angka 4 = 400<sup>0</sup> C.

Angka ketiga : menyatakan nomor sampel uji 1,2,3

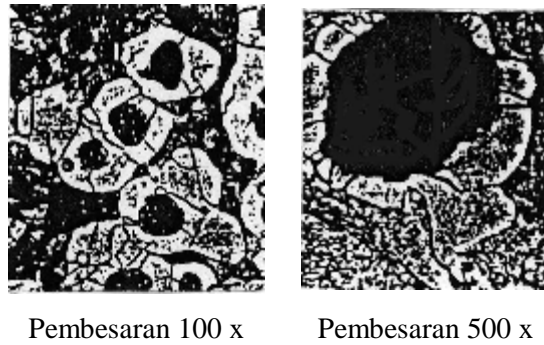
### 3. Data Hasil Uji Kekerasan

**Tabel 3 Data Hasil Uji Kekerasan**

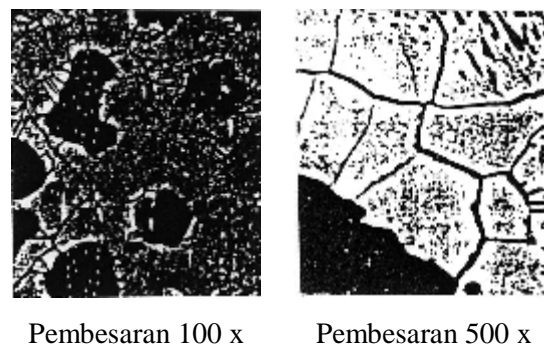
Kode	Nomor Sampel Uji	Kekerasan rata-2 ( BHN )
C000	1,2,3	286,8
C 841	1,2,3	232,7
C 842	1,2,3	220,5
C 843	1,2,3	223,8

Keterangan tabel 3 : penjelasan kode dan nomor pada sampel uji seperti pada tabel 2.

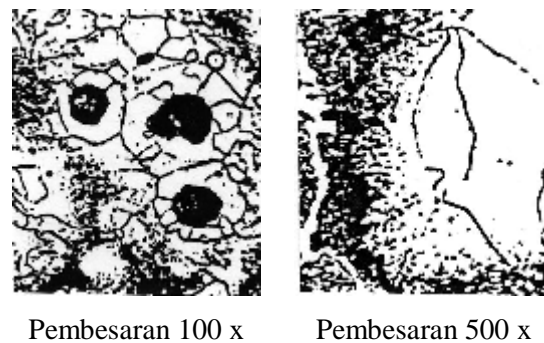
#### 4. Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro



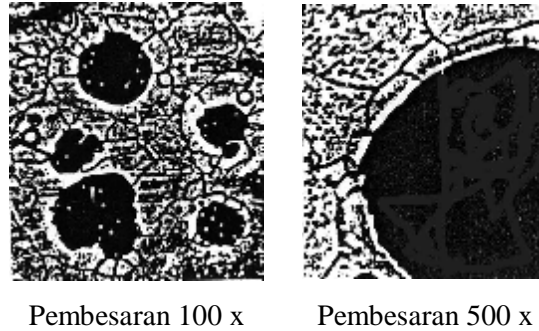
Gambar 1. Struktur Mikro Besi Tuang Nodular Setelah Penambahan Unsur Paduan Tanpa Proses Perlakuan Panas Austemper (*as-cast*)



Gambar 2. Struktur Mikro Besi Tuang Nodular Setelah Penambahan Unsur Paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr dan Proses Perlakuan Panas Austemper (  $T = 800^{\circ}C$  ;  $t = 60$  menit dan  $T = 400^{\circ}C$  ;  $t = 15$  menit )



Gambar 3. Struktur Mikro Besi Tuang Nodular Setelah Penambahan Unsur Paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr dan Proses Perlakuan Panas Austemper (  $T = 800^{\circ}C$  ;  $t = 60$  menit dan  $T = 400^{\circ}C$  ;  $t = 30$  menit )



Gambar 4. Struktur Mikro Besi Tuang Nodular Setelah Penambahan Unsur Paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr dan Proses Perlakuan Panas Austemper ( T = 800 ° C ; t = 60 menit dan T = 400 ° C ; t = 45 menit )

## PEMBAHASAN

### 1. Umum

Besi tuang nodular ( *ductile iron* ) adalah jenis besi tuang ( *cast iron* ) yang mempunyai partikel grafit berbentuk bulat ( *nodul* ) atau disebut grafit *spheroids* yang diperoleh dengan cara menambahkan unsur pembulat grafit ( *noduliser* ) jenis unsur *magnesium* ( Mg ) ke dalam leburan besi tuang pada proses perlakuan ladle ( *ladle treatment* ). Sifat dari unsur *magnesium* ( Mg ) adalah sangat mudah terbakar, karena proses nodularisasi dilakukan pada temperatur tinggi 1400 ° – 1500 ° C. Sebagai unsur pembulat grafit pada penelitian ini menggunakan jenis unsur *magnesium* ( Mg ) dalam bentuk paduan Fe – Si – Mg dengan kandungan *magnesium* ( Mg ) antara 5 % - 20 % dan pelaksanaannya ditutup dengan skrap baja ( *steel scrap* ) atau skrap potongan besi untuk menjaga agar temperatur reaksi unsur *magnesium* ( Mg ) yang rendah tidak terjadi reaksi langsung antara leburan besi tuang dengan unsur paduan *magnesium* ( Mg ), sehingga efektifitas unsur *magnesium* ( Mg ) terhadap proses pembulatan grafit akan tinggi dan temperatur reaksi menjadi rendah. Grafit berbentuk bulat ( *nodul* ) di dalam besi tuang nodular akan menghasilkan kombinasi antara keuletan dan kekuatan yang lebih baik dibandingkan besi tuang kelabu dengan grafit berbentuk serpih ( *flake* ), hal ini disebabkan pengaruh pemusatan tegangan pada pertemuan antara permukaan grafit dengan matriknya.

### 2. Proses Austenisasi

Proses austenisasi merupakan proses pemanasan yang dilakukan pada besi tuang nodular di atas temperatur kritis, sehingga fasa ferit (  $\alpha$  ) dan sementit (  $Fe_3C$  ) larut berubah menjadi fasa austenit (  $\gamma$  ) yang jenuh terhadap unsur karbon ( C ). Proses selanjutnya ditahan selama 60 menit pada temperatur 800 ° C untuk beberapa saat dengan tujuan agar seluruh matriknya berubah menjadi fasa austenit (  $\gamma$  ), menghomogenisasikan unsur karbon ( C ) diseluruh fasa austenit (  $\gamma$  ) yang terbentuk, mengurangi segregasi dari unsur paduan yang ditambahkan pada

besi tuang nodular dan melarutkan sejumlah kecil unsur sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) yang mungkin ada dalam struktur mikro hasil cor.

Transformasi fasa ferit ( $\alpha$ ) menjadi fasa austenit ( $\gamma$ ) berlangsung terlebih dahulu dibandingkan dengan kelarutan fasa sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), sehingga diperlukan waktu tahan yang cukup untuk menjamin bahwa, seluruh fasa yang ada telah berubah menjadi fasa austenit ( $\gamma$ ) dan unsur karbon ( $\text{C}$ ) yang ada telah larut dalam fasa karbida besi ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ).

### 3. Proses Austemper

Proses austemper merupakan proses pendinginan cepat (*quenching*) pada besi tuang nodular ke dalam larutan air garam (*salt bath*) sampai temperatur  $400^\circ\text{C}$  secara transformasi isothermal, yaitu berada di atas temperatur  $M_s$  (*martensite strat*), sehingga transformasi martensit tidak terjadi dan di bawah temperatur pembentukan perlit ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ), sehingga didapat matrik bainit dibandingkan menjadi austenit sisa (*retained austenite*) dan fasa martensit. Untuk memperoleh matrik bainit, maka diperlukan waktu tahan selama 15, 30, 45 menit pada temperatur austemper  $400^\circ\text{C}$  agar proses transformasi bainit dapat berjalan sempurna.

### 4. Unsur Paduan

Pengaruh penambahan 0,15 % Mo pada besi tuang nodular berfungsi sebagai penstabil fasa sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), meningkatkan sifat kekuatan tarik, kekerasan dan menghasilkan struktur *acicular* serta menurunkan sifat mampu dimesin (*machineability*) dari besi tuang nodular, sedangkan dengan melakukan penambahan 1% Mo akan meningkatkan kekuatan tarik mencapai 5000 psi dengan penurunan elongasi 8 %.

Penambahan 1,5 % Ni pada besi tuang nodular dapat meningkatkan penggrafitan dengan efektifitas 50 % dari derajat penggrafitan unsur *silicon* ( $\text{Si}$ ) dan apabila dilakukan penambahan 1 % Ni dapat meningkatkan sifat kekuatan tarik, kekuatan luluh 5000 psi dan menurunkan titik lebur  $5^\circ\text{C}$  serta dapat menurunkan temperatur transformasi dari fasa austenit ( $\gamma$ ) ke fasa ferit ( $\alpha$ ), sehingga pengaruh terbesar akibat penambahan unsur *nickel* ( $\text{Ni}$ ) terhadap sifat mekanis diperoleh setelah besi tuang nodular mengalami proses perlakuan panas austemper. Pengaruh penambahan 0,2 % Cr pada besi tuang nodular mempunyai fungsi yang sama seperti unsur *molybdenum* ( $\text{Mo}$ ), yaitu sebagai penstabil karbida besi ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), tetapi kelemahannya akan menurunkan sifat mampu dimesin dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis serta meningkatkan sifat kekuatan tarik, kekerasan, sedangkan dengan penambahan 0,1 % Cr, maka pengaruhnya terhadap sifat kekuatan tarik akan mengalami kenaikan antara 3 - 4 % dan sifat kekerasan meningkat antara 5 - 7 BHN. Penambahan unsur *chromium* ( $\text{Cr}$ ) bersama-sama dengan unsur *molybdenum* ( $\text{Mo}$ ) dalam kondisi optimum akan diperoleh kombinasi antara sifat kekuatan tarik maksimum dan sifat mampu mesinnya yang baik.



## 5. Kekuatan Tarik

Besi tuang nodular dengan penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr, diperoleh kekuatan tarik 61,69 kg/mm<sup>2</sup> dengan elongasi 6,54 % ( kondisi *as-cast* ) atau tanpa proses perlakuan panas austemper ( Tabel 2 ). Secara umum perbedaan elongasi antara kondisi *as-cast* dengan hasil proses perlakuan panas austemper, semakin meningkat tetapi sifat kekuatan tarik cenderung menurun ( Tabel 2 ), hal ini dipengaruhi oleh temperatur austemper 400 ° C dengan variasi waktu tahan 15, 30, 45 menit yang menyebabkan menyebarnya segregasi setelah proses pendinginan lambat ( udara ) selama proses pembekuan dan adanya unsur pengotor ( *impurity* ) pada saat proses pengecoran dilaksanakan, sedangkan elongasi yang meningkat disebabkan semakin dominannya matrik ferit (  $\alpha$  ) akibat anil feritisasi ( *anil ferritization* ). Temperatur austenisasi 800 ° C dengan waktu tahan selama 60 menit dan dilanjutkan proses austemper pada temperatur 400 ° C dengan waktu tahan selama 15, 30, 45 menit, tidak mempengaruhi perubahan sifat kekuatan tarik yang signifikan dari kondisi *as-cast*, walaupun perbedaannya tidak signifikan, yaitu sebesar 2,85 – 4,76 kg/mm<sup>2</sup> atau 4,62 – 7,72 %. Perbedaan waktu tahan pada proses austemper selama 15, 30, 45 menit terhadap perubahan angka kekuatan tarik pengaruhnya relatif kecil kenaikannya, kecuali waktu tahan selama 15 menit kekuatan tarik mencapai optimum 66,45 kg/mm<sup>2</sup> yang selanjutnya mengalami penurunan menjadi 65,60 kg/mm<sup>2</sup> dan 64,54 kg/mm<sup>2</sup> ( Tabel 2 ). Temperatur austenisasi 800 ° C dengan waktu tahan selama 60 menit dan dilanjutkan proses austemper 400 ° C dengan waktu tahan selama 15, 30, 45 menit yang dilakukan pada besi tuang nodular berakibat terjadi peningkatan angka elongasi 5,26 % - 8,66 % atau 80,43 % - 132,42 % dibandingkan dengan angka elongasi kondisi *as-cast* atau tanpa proses perlakuan panas austemper, walaupun kenaikan angka elongasinya tidak signifikan, hal ini disebabkan adanya matrik ferit (  $\alpha$  ) yang sangat dominan pada struktur mikro.

## 6. Kekerasan

Kekerasan besi tuang nodular setelah penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr, diperoleh 286,8 BHN (kondisi *as-cast* ) atau tanpa proses perlakuan panas austemper (Tabel 3), sedangkan hasil proses austenisasi 800 ° C dengan waktu tahan selama 60 menit dan dilanjutkan temperatur austemper 400 ° C dengan waktu tahan selama 15, 30, 45 menit menunjukkan penurunan kekerasan antara 54,1 - 69,8 BHN atau 18,86 % - 23,12 % dari kondisi *as-cast* atau tanpa proses perlakuan panas austemper, walaupun penurunan angka kekerasannya tidak signifikan, hal ini disebabkan temperatur austemper 400 ° C yang dilakukan belum mampu membentuk struktur bainit, sehingga hanya memperluas daerah matrik ferit (  $\alpha$  ) akibat proses perlakuan panas anil feritisasi ( Tabel 3 ).

## 7. Pengamatan Struktur Mikro

Besi tuang nodular setelah penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr ( kondisi *as-cast* ) atau tanpa proses perlakuan panas austemper mempunyai grafit berbentuk bulat dan sebagian kecil berbentuk lamel serta struktur matrik terdiri dari matrik ferit (  $\alpha$  ) dan matrik perlit (  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  ) yang jumlahnya hampir sama ( Gambar 1 ). Grafit berbentuk bulat disebabkan proses perlakuan ladle ( *ladle treatment* ), yaitu nodularisasi dengan penambahan unsur *magnesium* ( Mg ) sebagai unsur pembulat grafit. Adanya sebagian kecil bentuk grafit berbentuk lamel diakibatkan oleh unsur – unsur pengaruh : 2,928 % Si, 0,002 % Sn dan 0,05 % Al sebagai unsur pembentuk grafit serpih ( *flake* ) ( Tabel 1 ). Pemudaran bentuk grafit bulat ( *nodul* ) dipengaruhi oleh unsur 0,074 % Mg yang semakin lemah akibat lambatnya proses penuangan cairan logam ke dalam cetakan pasir ( Tabel 1 ). Segregasi yang terbentuk disebabkan unsur 0,04 % S yang cukup besar ( Tabel 1 ), sehingga mempengaruhi terbentuknya Mn - S dan Fe - S serta akibat proses pendinginan lambat ( udara ) selama proses pembekuan.

Matrik ferit (  $\alpha$  ) terbentuk akibat adanya unsur 2,928 % Si yang menyebabkan reaksi eutektik tidak terjadi pada suatu titik temperatur melainkan pada interval temperatur tertentu, sedangkan matrik perlit (  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  ) dihasilkan dari pendinginan cepat, sehingga mengakibatkan unsur karbon ( C ) tidak sempat keluar sebagai akibat dekomposisi austenit (  $\gamma$  ) yang membentuk fasa sementit (  $\text{Fe}_3\text{C}$  ) dan fasa ferit (  $\alpha$  ). Besi tuang nodular setelah mengalami proses perlakuan panas austemper pada temperatur austenisasi 800 °C dengan waktu tahan selama 60 menit dan dilanjutkan proses austemper 400 °C dengan waktu tahan selama 15, 30, 45 menit mengakibatkan perubahan struktur mikro dengan semakin meluasnya matrik ferit (  $\alpha$  ) diantara matrik perlit (  $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$  ) dan butiran grafit bulat ( *nodul* ), hal ini disebabkan proses austenisasi diatas, belum melewati temperatur kritis, sehingga fasa austenit (  $\gamma$  ) dan struktur bainit belum terbentuk ( Gambar 2 – 4 ).

## SIMPULAN

1. Temperatur austenisasi 800 °C dengan waktu tahan selama 60 menit dan dilanjutkan proses austemper 400 °C dengan waktu tahan selama 15, 30, 45 menit pada besi tuang nodular setelah penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr tidak terjadi transformasi fasa ferit (  $\alpha$  ) dan fasa sementit (  $\text{Fe}_3\text{C}$  ) menjadi fasa austenit (  $\gamma$  ).
2. Temperatur austenisasi 800 °C dengan variasi waktu tahan selama 60 menit dan dilanjutkan proses austemper 400 °C dengan waktu tahan selama 15, 30, 45 menit pada besi tuang nodular setelah penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr tidak terbentuk struktur bainit, sehingga hanya memperluas daerah matrik ferit (  $\alpha$  ) akibat proses perlakuan panas anil feritisasi.

3. Sifat kekuatan tarik, kekerasan semakin menurun dan elongasi semakin meningkat akibat proses austenisasi 800 ° C dengan waktu tahan selama 60 menit dan dilanjutkan proses austemper 400 ° C dengan waktu tahan selama 15, 30, 45 menit pada besi tuang nodular setelah penambahan unsur paduan 0,15 % Mo, 1,5 % Ni, 0,2 % Cr, hal ini dipengaruhi oleh matrik ferit (  $\alpha$  ) yang sangat dominan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Blackmore PA and Harding RA (1984). *Journal The Effect of Metallurgical Process Variables on The Properties of Austempering Ductile Iron.*
- Darwish N and R Elliot (1990). *Journal Austempering of Low Mangan Ductile Iron. Material Science and Technology.*
- Dieter G.E (1990). *Metalurgi Mekanik Jilid I Terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.*
- Gilbert.G.N.J (1986). *The Effects of Changes in Alloy Content and Casting Thickness on The Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron (ADI) AT 375 ° C Come Observations.*
- Honeycombe.R.W.K (1981). *Steels Microstructure and Properties* Edward Arnold Ltd.
- Hughes ICH (1988). *Journal Casting Ductile Iron* :. Park Ohio, ASM Handbook Vol 15 American Society of Metals. BCIRA Report 1666.
- Juchi Tanaka and Hidehiko Kage (1992). *Journal Development and Application of Austempered Spherodical Graphite Cast Iron.* Graduate Student Muroran Institute of Technology.

