

PENGARUH KEKERASAN TERHADAP ELONGASI DAN STRUKTUR MIKRO BESI TUANG NODULAR FCD 45 HASIL PROSES AUSTEMPER 375 °C, 425 °C

R. Djoko Andrijono*

Abstraksi

Untuk meningkatkan sifat mekanis besi tuang nodular adalah dengan cara melakukan proses perlakuan panas austemper yang prosesnya terjadi 2 tahap yaitu : temperatur austenisasi 900 °C dengan waktu tahan selama 60 menit yang dilanjutkan proses austemper pada temperatur 375 °C dan 425 °C dengan waktu tahan masing-masing 30, 60, 90 menit. Pengujian yang dilakukan meliputi : uji komposisi kimia, uji kekerasan, pengamatan struktur mikro pada besi tuang nodular kondisi tanpa perlakuan panas austemper dan setelah proses perlakuan panas austemper. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi 260 BHN pada temperatur austemper 375 °C dan 245 BHN pada temperatur austemper 425 °C dengan waktu tahan yang sama sebesar 30 menit. Elongasi tertinggi 3,57 % pada temperatur austemper 375 °C dengan waktu tahan selama 60 menit dan 5,66 % pada temperatur austemper 425 °C dengan waktu tahan selama 60 menit. Struktur mikro besi tuang nodular setelah proses austemper diperoleh struktur bainit atas dan austenit sisa yang berbentuk celah – celah sempit diantara jarum – jarum ferit (α) yang tumbuh hampir sejajar serta ada yang berbentuk blok – blok austenit. Pada temperatur austemper 375 °C didapatkan struktur bainit atas lebih halus dibandingkan struktur bainit atas pada temperatur 425 °C.

Kata kunci : besi tuang nodular, kekerasan, elongasi

PENDAHULUAN

Perbedaan khusus antara besi tuang nodular (*ductile iron*) dengan besi tuang kelabu (*gray cast iron*) terletak pada bentuk grafit (*graphite*) atau karbon bebas. Grafit pada besi tuang nodular berbentuk bulat (*nodul*), sedangkan grafit pada besi tuang kelabu berbentuk serpih (*flake*). Untuk meningkatkan sifat mekanis besi tuang nodular, dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu melakukan penambahan unsur paduan dengan persentase tertentu atau dapat juga dilakukan dengan proses perlakuan panas austemper. Pelaksanaan proses perlakuan panas austemper dapat dilakukan dengan 2 (dua) tahap yaitu proses austenisasi dan austemper, sehingga hasil dari proses tersebut, dinamakan besi tuang nodular austemper atau *Austempered Ductile Iron (ADI)*.

Penelitian ini bertujuan memperbaiki dan membandingkan sifat kekerasan dan struktur mikro besi tuang nodular tanpa proses perlakuan panas austemper (*as-cast*) dengan besi tuang nodular setelah proses austenisasi 900 °C dengan waktu tahan selama 90 menit dan dilanjutkan proses austemper 375 °C dan 425 °C dengan variasi waktu tahan masing–masing selama 30, 60, 90 menit

Diharapkan hasil penelitian dapat memberikan informasi kepada kalangan industri manufaktur, khususnya di bidang proses pengecoran (*casting process*) besi tuang nodular dan proses perlakuan panas austemper, sehingga dapat mengetahui serta mampu mengatasi permasalahan proses pengecoran yang terjadi sebelum produk diaplikasikan, khususnya pada proses pembuatan komponen otomotif.

KAJIAN PUSTAKA

Besi tuang (*cast iron*) merupakan material teknik yang pemakaiannya berkembang pesat baik segi kualitas maupun kuantitas, hal ini terbukti bahwa, besi tuang mempunyai beberapa

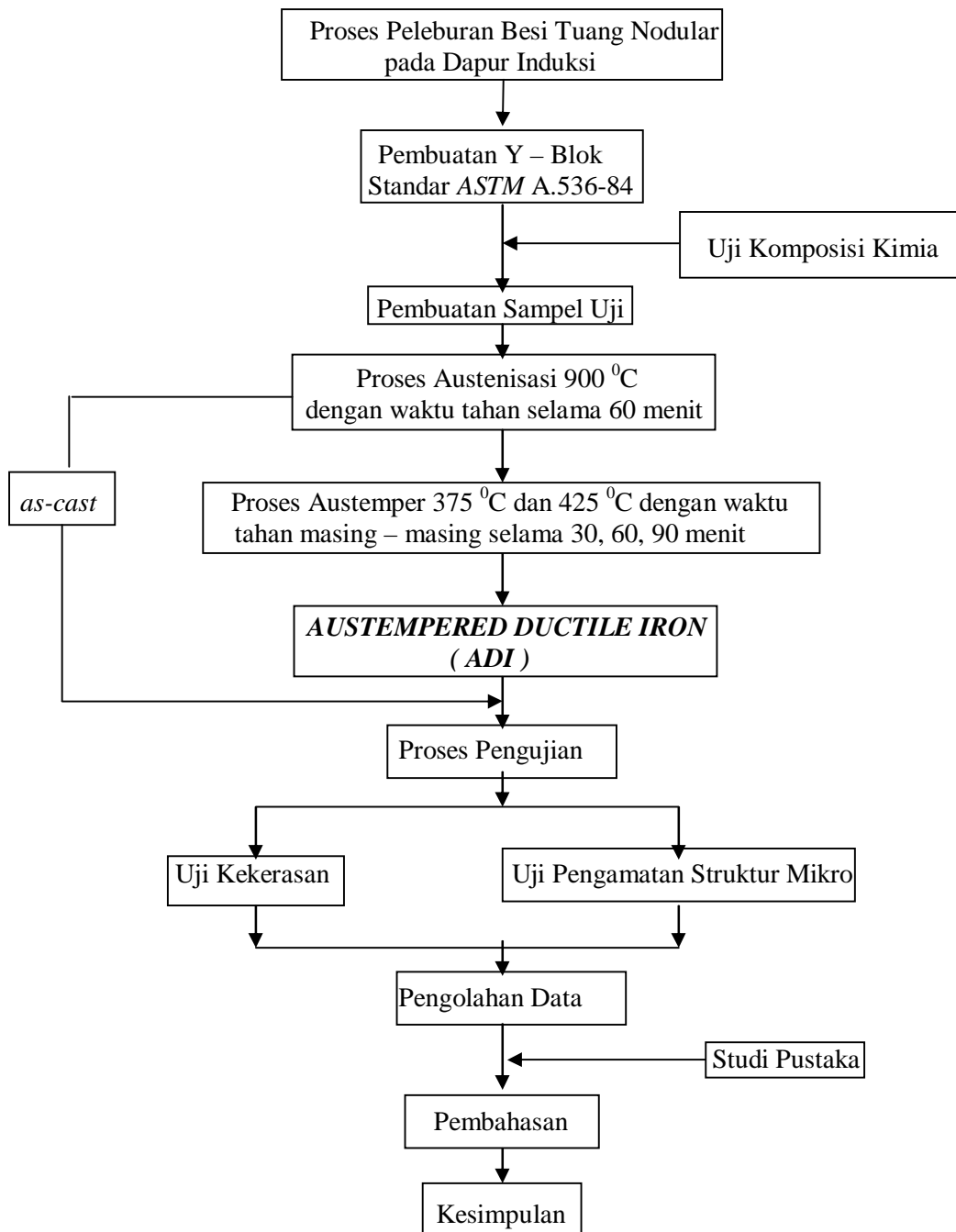
keuntungan : mampu tuang (*castability*) yang baik, sifat mampu dimesin (*machineability*), kemudahan proses produksi dan rendahnya temperatur tuang, sedangkan kerugiannya : getas (*brittle*) dan kekuatan (*strength*) yang rendah dibandingkan dengan baja (*steel*). Besi tuang pada dasarnya merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana perbedaan antara besi tuang dengan baja terletak pada unsur karbon (C). Unsur karbon pada baja (C) kurang dari 2 % dan untuk besi tuang dengan karbon (C) antara 2 % - 6,67 % serta unsur – unsur tambahan lain seperti silikon (Si), mangan (Mn), *posphor* (P), *magnesium* (Mg), *sulfur* (S), karena unsur karbon (C) yang tinggi cenderung besi tuang menjadi rapuh (*brittle*).

Salah satu jenis besi tuang yang sering dipakai di industri manufaktur, khususnya di bidang proses pengecoran adalah besi tuang nodular (*ductile iron*). Besi tuang nodular (*ductile iron*) adalah merupakan kelompok besi tuang (*cast iron*) yang mempunyai partikel grafit berbentuk bulat 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 (*gray 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 (α), ferit – perlit ($\alpha - \alpha + Fe_3 C$) atau perlit ($\alpha + Fe_3 C$) seluruhnya dengan endapan grafit berbentuk grafit. Matrik yang terdapat pada besi tuang nodular mempunyai sifat keuletan (*ductility*) dan ketangguhan (*toughness*) yang lebih tinggi 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 (*gray cast iron*) dan baja (*steel*).

Total unsur karbon (C) pada besi tuang nodular sama dengan unsur karbon (C) total pada besi tuang kelabu (*gray cast iron*), tetapi unsur *sulfur* (S) dalam besi tuang nodular dibatasi antara 0,005 – 0,01 % dan harus di bawah 0,02 % setelah perlakuan unsur *magnesium* (Mg). Unsur *sulfur* (S) harus serendah mungkin karena unsur *sulfur* (S) akan bereaksi dengan unsur *magnesium* (Mg) membentuk Mg–S yang akan menjadi terak (*slag*). Unsur *sulfur* (S) larut sempurna dalam cairan besi murni, tetapi kelarutannya akan menurun dengan adanya unsur mangan (Mn), karbon (C) dan silikon (Si). Unsur *sulfur* (S) berikatan dengan unsur mangan (Mn) membentuk inklusi Mn–S atau dengan besi membentuk Fe–S. Inklusi terjadi apabila unsur *sulfur* (S) sangat tinggi dan unsur mangan (Mn) sangat rendah. Unsur–unsur lain yang berpengaruh terhadap proses pembekuan besi tuang nodular adalah unsur silikon (Si). Jumlah oksigen yang terlarut juga sangat mempengaruhi terbentuknya grafit bulat, makin rendahnya kadar oksigen yang larut, maka makin baik proses pembentukan grafit bulat.

* Dosen Jurusan Mesin Unmer Malang

METODOLOGI PENELITIAN



Peralatan Penunjang Penelitian

1. Mesin - mesin : mikroskop logam, mesin gerinda, mesin poles, mesin cetak film, mesin bubut, mesin *shot blast*, mesin uji kekuatan tarik, mesin spektrometer, dapur induksi, *burner*, ladle.
2. Peralatan lain : cetakan pasir basah, pola kayu Y- blok, alumina, kertas gosok dengan *grade* # 200 - # 1200, etsa dengan *nital* 2 %, termokopel, dapur proses perlakuan panas austemper dengan 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 : $\text{NaNO}_3 = 45 \%$; $\text{KNO}_3 = 55 \%$.

Variabel Pengujian :

1. Jenis material teknik : besi tuang nodular FCD 45
2. Kapasitas ladle : 100 kg dengan temperatur saat proses penuangan 1560 °C
3. Jenis sampel uji : a. uji kekerasan : 24 buah sampel uji
b. uji kekuatan tarik : 24 buah sampel uji
c. uji pengamatan struktur mikro : 24 buah sampel uji
d. uji komposisi kimia : 2 buah sampel uji
4. Temperatur kerja dapur austenisasi : 800 ° – 1060 °C
5. Temperatur austenisasi : 900 °C dengan waktu tahan selama 60 menit
6. Temperatur kerja dapur austemper : 160 ° – 600 °C
7. Temperatur austemper : 375 °C dan 425 °C dengan waktu tahan masing - masing selama 30, 60, 90 menit

Batasan dan Metode Pengujian

1. Uji Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia menggunakan mesin spektrometer standar *British Cast Iron Research Association* (*BCIRA*) dengan kondisi 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 Kekerasan

Uji kekerasan menggunakan *Brinell Hardness Number* (BHN) memakai indentor bola baja (*steel ball*) dengan diameter 2,5 mm dan beban 1840 N. Tujuan uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui perbedaan sifat kekerasan antara besi tuang nodular tanpa proses perlakuan panas austemper (*as-cast*) dengan besi tuang nodular yang telah mengalami proses perlakuan panas austemper.

3. Elongasi

Untuk mengetahui perbedaan harga elongasi pada besi tuang nodular tanpa proses perlakuan panas austemper (*as-cast*) dengan besi tuang nodular setelah mengalami proses perlakuan panas austemper, dapat dilakukan melalui uji kekuatan tarik dengan rumus :

$$e = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$$

dimana : e = elongasi (%)

L_f = panjang sampel uji sesudah uji kekuatan tarik (mm)

L_o = panjang sampel uji sebelum uji kekuatan tarik (mm)

4. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengamati perbedaan fasa-fasa yang terdapat pada besi tuang nodular tanpa proses perlakuan panas austemper (*as-cast*) dan besi tuang nodular setelah proses perlakuan panas austemper. Proses pengamatan struktur mikro diawali proses

penggerindaan pada mesin gerinda (*grinder machin*) dengan *grade* # 200, # 400, # 600, # 1000, # 1200. Proses selanjutnya melakukan pemolesan pada mesin poles (*machine polisher*) dengan menggunakan *aluminium oxida (alumina)*. Sampel uji yang telah mengalami proses pemolesan, maka dilakukan proses pengetsaan dengan larutan *nital* 2 % (2 ml HNO₃ dalam 98 ml alkohol) dan setelah dietsa ditahan selama 2-3 detik, kemudian selanjutnya dicuci dengan air (H₂O) serta alkohol. Tahap akhir, sampel uji yang telah mengalami proses pengetsaan, dilakukan uji pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop logam (pembesaran 500 x).

Data Hasil Pengujian

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

No	Unsur	Simbol	Komposisi kimia (%)
1	<i>Carbon</i>	C	3,320
2	<i>Silicon</i>	Si	2,310
3	<i>Mangan</i>	Mn	0,350
4	<i>Posphor</i>	P	0,025
5	<i>Sulfur</i>	S	0,049
6	<i>Aluminium</i>	Al	0,024
7	<i>Chrom</i>	Cr	0,011
8	<i>Timah hitam</i>	Pb	0,002
9	<i>Timah putih</i>	Sn	0,003
10	<i>Magnesium</i>	Mg	0,080
11	<i>Iron</i>	Fe	93,72

Data Hasil Uji Kekerasan dan Elongasi

Tabel 2. **Data Hasil Uji Kekerasan dan Elongasi pada Besi Tuang Nodular**

Kode Sampel Uji	Pengujian ke	Kekerasan		Elongasi (%)	
		BHN	Rata-Rata	e (%)	Rata-Rata
A 000 (<i>as-cast</i>)	1	170	169	11,9	14,7
	2	169		16,4	
	3	168		15,8	
A933	1	260	260	2,36	2,54
	2	260		2,44	
	3	261		2,82	
A 936	1	253	251	3,48	3,57
	2	250		3,39	
	3	251		3,83	
A 939	1	249	248	1,87	1,78
	2	247		1,83	
	3	247		1,65	
A 943	1	245	245	2,39	2,32
	2	245		2,30	
	3	245		2,28	
A 946	1	232	233	6,41	5,66
	2	234		5,57	
	3	234		5,00	
A 949	1	232	232	3,78	3,88
	2	232		3,46	
	3	232		4,40	

Keterangan tabel 2 :

Pemberian kode dan nomor pada sampel uji kekerasan terdiri dari : 1 huruf dan 3 digit angka

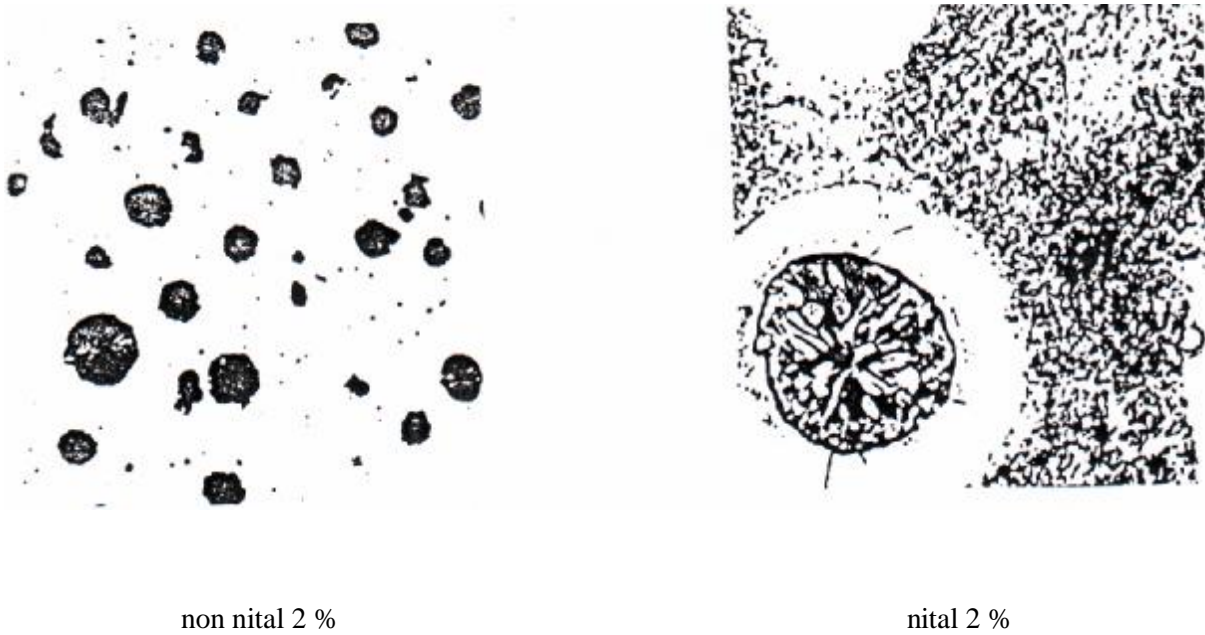
Huruf pertama : menyatakan besi tuang nodular dengan kode huruf A tanpa unsur paduan.

Angka pertama : menyatakan temperatur austenisasi : angka 9 = 900 °C.

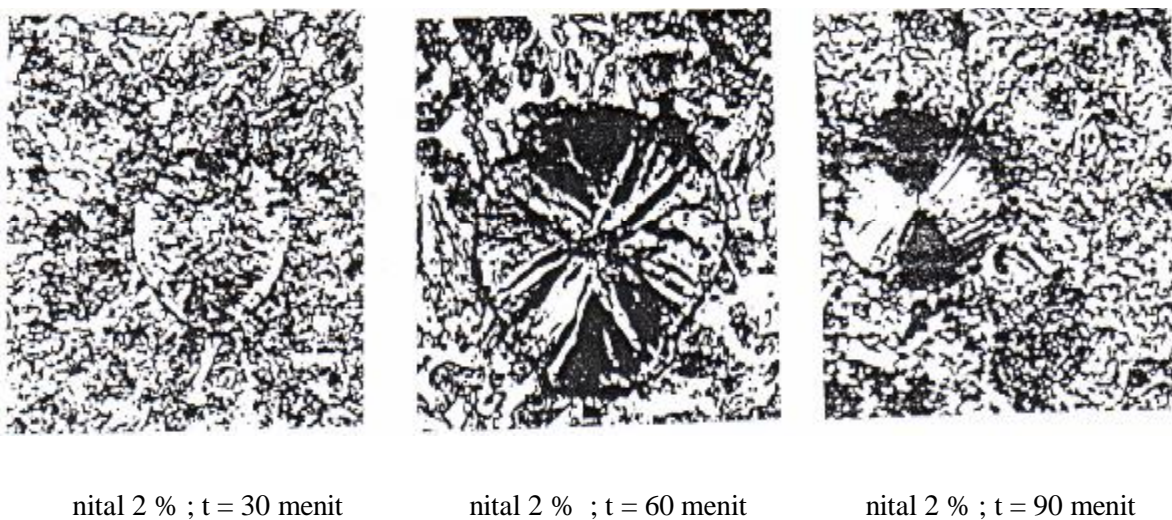
Angka kedua : menyatakan temperatur austemper : angka 3 dan 4 = 375 °C dan 425 °C.

Angka ketiga : menyatakan waktu tahan : angka 3,6,9 = 30 menit, 60 menit dan 90 menit

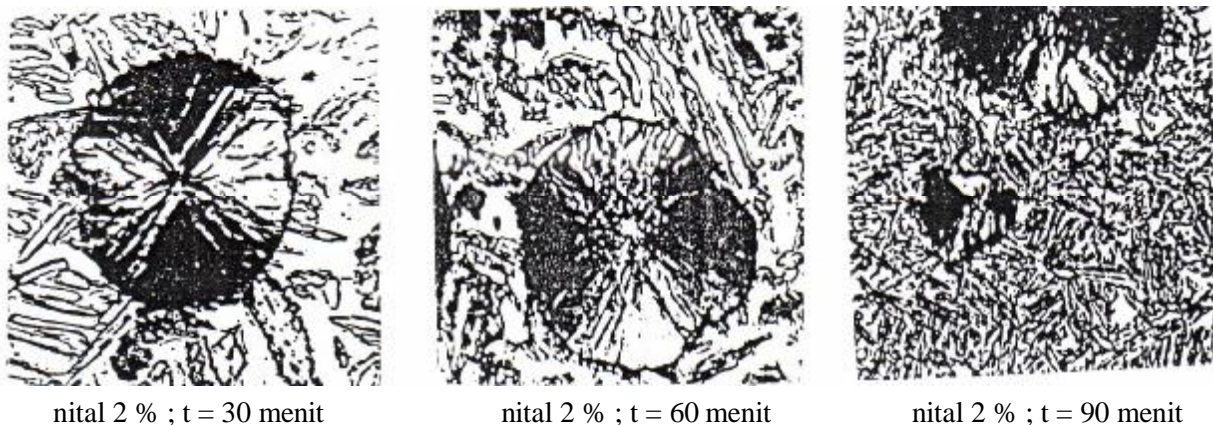
Data Hasil Uji Pengamatan Struktur Mikro



Gambar 1. Struktur Mikro Besi Tuang Nodular Sebelum Proses Austemper (as - cast) (pembesaran 500 x)



Gambar 2. Struktur Mikro Besi Tuang Nodular Setelah Proses Austemper 375 °C dan Proses Austenisasi 900 °C dengan Waktu Tahan Selama 60 Menit (pembesaran 500 x)



Gambar 3. Struktur Mikro Besi Tuang Nodular Setelah Proses Austemper 425 °C dan Proses Austenisasi 900 °C dengan Waktu Tahan Selama 60 Menit (pembesaran 500 x)

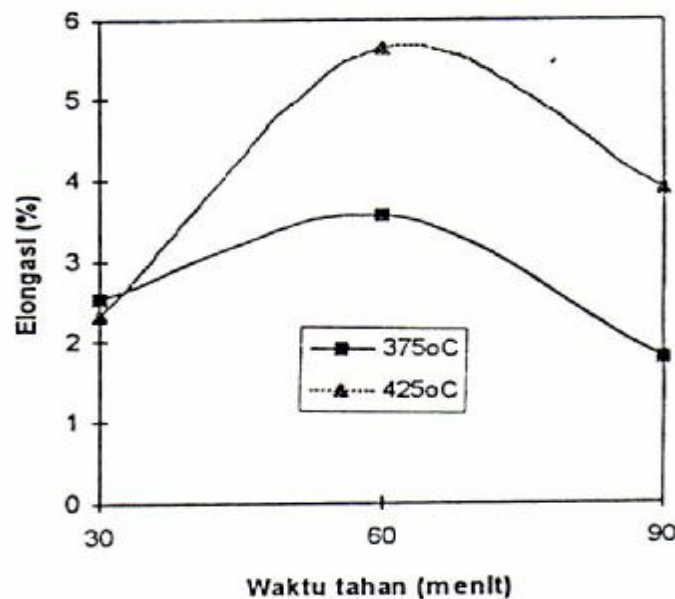
PEMBAHASAN

Struktur mikro besi tuang nodular tanpa proses perlakuan panas austemper (*as-cast*) (gambar 1), struktur matrik yang ada adalah fasa ferit (α) dan perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$). Fasa ferit (α) terjadi karena adanya unsur *silicon* (2,31 %) (tabel 1) yang menyebabkan reaksi eutektik tidak terjadi pada satu titik temperatur melainkan dalam suatu interval temperatur, sehingga menyebabkan kecepatan pendinginan menjadi lambat, akibatnya jumlah fasa ferit (α) akan meningkat. Pendinginan yang lambat, maka unsur *carbon* (C) yang keluar dari fasa austenit (γ) akan lebih banyak untuk berpindah dan menyatu dengan grafit bulat, sehingga akan meningkatkan terbentuknya fasa ferit (α). Matrik ferit (α) akan menghasilkan sifat keuletan (*ductility*), kekuatan tarik (*tensile strength*) dan kekuatan luluh (*yield strength*) yang menyerupai baja karbon rendah (*low carbon steel*). Fasa perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) dihasilkan akibat pendinginan cepat, sehingga mengakibatkan tidak sempatnya unsur *carbon* (C) keluar sebagai akibat dari dekomposisi fasa austenit (γ) tidak berpeluang membentuk grafit bulat melainkan berbentuk pelat–pelat sementit (Fe_3C) dan ferit (α) secara berselang–seling yang disebut fasa perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$). Adanya fasa perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) disekitar grafit bulat akan menghasilkan besi tuang nodular dengan kekuatan tarik yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan besi tuang nodular feritik.

Pada gambar 2 - 3 nampak adanya grafit berbentuk bulat dan lamel yang ditimbulkan pengaruh adanya penambahan unsur pembulat grafit berupa unsur *magnesium* (0,08 % Mg) (tabel 1) yang termasuk tipe *irregular nodulles* dengan jumlah < 80 nodul / mm^2 . Grafit berbentuk lamel akibat pengaruh unsur *silicon* (2,31 % Si), timah hitam (0,002 % Pb), aluminium (0,024 % Al) (tabel 1) sebagai pembentuk grafit dan juga pemudaran bentuk grafit terjadi karena pengaruh unsur *magnesium* (0,08 %) (tabel 1) yang semakin lemah akibat lambatnya proses penuangan cairan logam ke dalam cetakan. Adanya sejumlah segregasi yang disebabkan kandungan unsur *sulfur* (0,049 % S) (tabel 1) yang tinggi, dimana unsur *sulfur* (S) pada besi tuang nodular dibatasi sekitar 0,005– 0,01 % dan harus di bawah 0,02 % setelah perlakuan unsur *magnesium* (Mg).

Kandungan unsur *sulfur* (S) harus serendah mungkin karena unsur *sulfur* (S) akan bereaksi dengan unsur *magnesium* (Mg) membentuk MgS yang akan menjadi terak (*dross*). Unsur *sulfur* (S) larut sempurna dalam cairan besi murni tetapi kelarutannya akan menurun dengan adanya unsur mangan (0,35 % Mn), *carbon* (3,32 % C) dan *silicon* (2,31 % Si) (tabel 1). Unsur *sulfur* (S) biasanya berkaitan dengan unsur mangan (Mn) membentuk inklusi MnS atau dengan besi membentuk FeS. Inklusi ini dapat terjadi bila kandungan unsur *sulfur* (S) sangat tinggi dan unsur mangan (Mn) sangat rendah. Unsur *phospor* (0,025 % P) (tabel 1) dalam besi tuang nodular akan membentuk struktur bersifat rapuh (*brittle*) yang disebut struktur *steadit* (Fe₃P) dan dengan meningkatnya unsur *phospor* (P) akan mengakibatkan jumlah matrik perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) bertambah akibatnya sifat kekerasan dan kekuatan tarik meningkat.

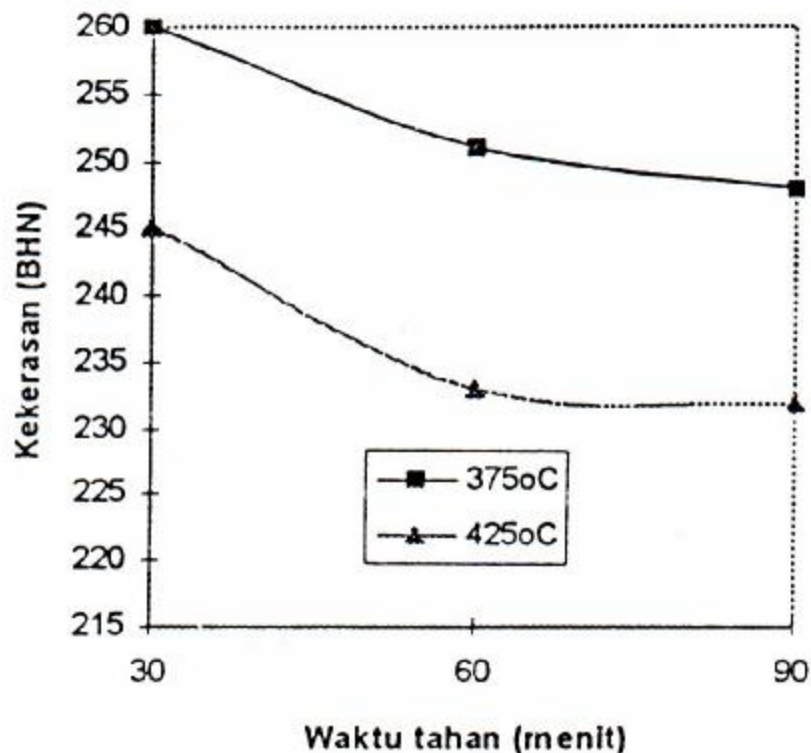
Besi tuang nodular setelah dilakukan proses austemper pada temperatur 375 °C dan 425 °C terjadi perubahan struktur mikro dengan terbentuknya bainit atas (*upper bainite*) (gambar 2–3). Pada temperatur 375 °C akan didapat bainit atas yang lebih halus dibandingkan dengan temperatur 425 °C, hal ini disebabkan karena laju difusi *carbon* (C) akan menurun sesuai dengan penurunan temperatur austemper. Disamping terbentuknya bainit atas akibat proses austemper 375 °C dan 425 °C juga terdapat austenit sisa (*retained austenite*), dimana fasa austenit (γ) yang belum sempat bertransformasi selama proses pendinginan. Waktu tahan semakin meningkat 30, 60, 90 menit akan mengakibatkan semakin besar dan seragam karena lamanya waktu tahan mempengaruhi besar serta keseragaman ukuran fasa austenit (γ). Austenit sisa pada temperatur austemper 375 °C lebih sedikit dibandingkan dengan temperatur austemper 425 °C, austenit sisa yang terjadi ada yang berbentuk celah–celah sempit (*silver*) diantara jarum–jarum ferit (α) yang tumbuh hampir sejajar dan ada yang berbentuk blok–blok austenit (*blocky austenite*).



Gambar 4. Elongasi Terhadap Waktu Tahan pada Temperatur Austemper 375 °C dan 425 °C

Nilai elongasi tertinggi 5,66 % untuk temperatur austemper 425 °C dengan waktu tahan selama 60 menit (tabel 2 dan gambar 4), hal ini disebabkan pada waktu tahan selama 60 menit terjadi reaksi proses jendela (*processing window*) yang paling optimum dibandingkan dengan waktu tahan 30 menit dan 90 menit, dimana akan dihasilkan jumlah austenit sisa yang cukup banyak, sehingga terjadi peningkatan nilai elongasi. Elongasi tertinggi diperoleh pada temperatur austemper 425 °C dengan waktu tahan selama 60 menit sebesar 5,66 % (tabel 2).

Kekerasan besi tuang nodular tanpa proses austemper (*as-cast*) 169 BHN (tabel 2), sedangkan besi tuang nodular setelah proses austemper dengan temperatur 375 °C dan 425 °C terjadi peningkatan angka kekerasan antara 63 – 91 BHN (27 – 35 %) dibandingkan dengan besi tuang nodular sebelum proses austemper. Peningkatan angka kekerasan pada temperatur austemper 425 °C secara umum lebih rendah dibandingkan dengan temperatur austemper 375 °C (gambar 5) dan angka kekerasan dari masing – masing proses austemper dengan waktu tahan semakin lama, maka angka kekerasan semakin menurun, hal ini disebabkan pengaruh adanya kecepatan pendinginan pada proses austemper 425 °C lebih rendah dibandingkan proses austemper 325 °C, sehingga menyebabkan laju pertumbuhan jarum–jarum bainit relatif lebih rendah dan difusi karbon (C) yang keluar relatif lebih tinggi. Akibat kondisi ini menyebabkan jarum–jarum bainit akan semakin kasar dan sifat kekerasannya menurun.



Gambar 5. Kekerasan Terhadap Waktu Tahan pada Proses Austemper 375 °C dan 425 °C

SIMPULAN

Besi tuang nodular setelah proses austenisasi 900 °C dengan waktu tahan selama 90 menit yang dilanjutkan proses austemper 375 °C dan 425 °C dengan waktu tahan selama 30, 60, 90 menit secara umum sifat kekerasan semakin meningkat dan elongasi semakin menurun serta menghasilkan bainit atas serta austenit sisa.

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 375⁰ C Come Observations*.