

PENGARUH PERLAKUAN PANAS *AUSTEMPER* DUA TAHAP PADA SIFAT MEKANIK MATERIAL BAJA ST-90

Dwi Basuki Wibowo¹⁾, Sutopo Setiawan²⁾

Abstrak

Dalam beberapa tahun terakhir ini, baja telah menjadi salah satu material yang cukup penting dalam bidang keteknikan, karena sifat mekaniknya yang cukup baik. Sifat mekanik baja bias diubah sesuai dengan sifat mekanik yang dibutuhkan, dengan cara diheat treatment. Dalam penelitian ini, material baja karbon sedang ST-90, diheat treatment dengan proses austemper dua tahap.

Pertama-tama spesimen diaustenisasi pada temperatur 850° C selama 2 jam. Selanjutnya diquenching selama 5 menit di salt bath pada temperatur austemper tahap pertama. Temperatur austemper tahap pertama tersebut antara lain 350° C, 400° C, 450° C dan 500° C. Selanjutnya spesimen tersebut diaustemper selama 2 jam pada temperatur austemper tahap kedua. Temperatur austemper tahap kedua tersebut antara lain dengan peningkatan 25° C, 50° C dan 100° C dari masing-masing temperatur austemper tahap pertama. Dan akhirnya spesimen tersebut dinormalizing pada temperatur ruang.

Pengaruh dari variasi rentang temperatur austemper tahap pertama dan austemper tahap kedua pada struktur mikro dan sifat mekanik (kekerasan) diuji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan rentang temperatur yang semakin besar maka akan dihasilkan nilai kekerasan yang semakin besar.

Kata kunci: Baja; Proses Austemper dua tahap; Struktur mikro; Kekerasan

PENDAHULUAN

Baja adalah paduan logam besi dan karbon yang kemungkinan juga terdiri dari konsentrasi paduan logam unsur-unsur yang lain. Ada beribu-ribu paduan logam, yang mempunyai *heat treatment* dan / atau komposisi yang berbeda-beda. Berbagai cara (*heat treatment*) dilakukan untuk memperoleh baja yang memiliki ketangguhan dan kekuatan yang optimum, tidak terlalu getas (*brittle*) dan tidak terlalu ulet (*ductile*). Untuk memperoleh ketangguhan dan kekuatan yang optimum telah dikembangkan proses *austemper*. Sementara itu, sifat mekanik dari hasil *Austemper* masih bisa lebih baik lagi. Sehingga dalam penelitian ini akan coba diteliti hasil dari Proses *Austemper* Dua Tahap, yang diindikasikan akan memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari Proses *Austemper* biasa.

Dalam penelitian ini, perlakuan panas yang digunakan adalah dengan menggunakan sistem perlakuan panas *austemper* dua tahap dengan variasi temperatur *quenching* yang terdiri dari dua tahap penahanan, dengan menggunakan material Baja ST-90. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh Perlakuan Panas *Austemper* Dua Tahap dengan variasi temperatur *quenching* yang terdiri dari dua tahap penahanan terhadap sifat-sifat mekanis (kekerasan) dan struktur mikro pada material Baja ST-90.

DASAR TEORI

Baja adalah paduan logam besi dan karbon yang kemungkinan juga terdiri dari konsentrasi unsur-unsur paduan logam yang lain. Ada beribu-ribu paduan logam, yang mempunyai *heat treatment* dan/atau komposisi yang berbeda-beda. Sifat mekanis berbeda berdasarkan pada kandungan karbon, yang mana secara normal kurang dari 1.0 % berat. Sebagian dari baja biasanya digolongkan menurut kadar karbon, yakni ke dalam kandungan karbon rendah (< 0.25 % berat C), medium (antara 0.25-0.60 % berat C), dan jenis karbon tinggi (antara 0.60-1.4 % berat C). Sub kelas juga ada di dalam masing-masing kelompok menurut konsentrasi dari campuran logam unsur-unsur paduannya^[ref. 1 hal. 251].

Disamping itu juga terdapat baja tahan karat yang terbagi menjadi tiga kelas, yaitu struktur mikro-martensitic, ferritic, atau austenitic. Baja tahan-karat Martensitic mampu untuk diperlakukan *heat treatment* sedemikian rupa sehingga *martensite* menjadi unsur pokok mikro yang utama. Penambahan unsur-unsur paduan logam dengan konsentrasi yang drastis menghasilkan perubahan dramatis karbida besi pada diagram fasa. Untuk baja tahan-karat austenitic, bidang fase *austenite* (atau α) diperluas pada suhu-kamar. Baja tahan-karat ferritic terdiri atas *ferrite* α berfasa BCC^[ref. 1 hal. 255].

Terdapat juga baja paduan, yaitu baja yang mengandung unsur-unsur paduan logam, seperti krom, mangan, molybdenum, nikel, silikon, sulfur, tungsten dan vanadium. Pemasukan unsur-unsur paduan logam menghasilkan banyak sifat fisik berbeda yang tergantung pada banyaknya unsur-unsur yang ditambahkan^[ref. 3 hal. 6].

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

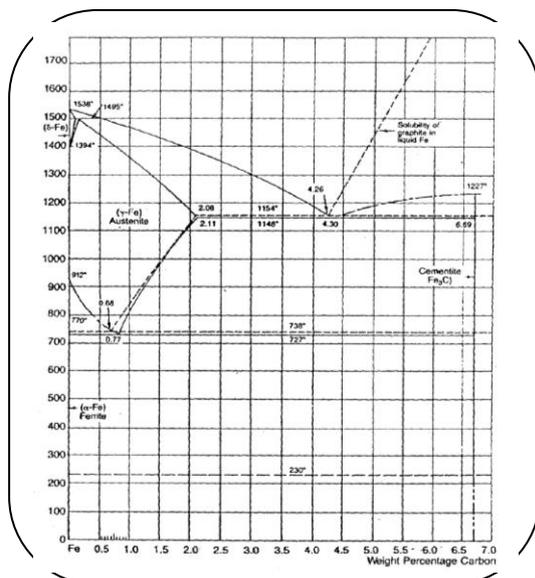
²⁾ Alumni Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

Baja memiliki beberapa sifat mekanik yang penting antara lain: Kekuatan (daya tarik, lengkung, dan tekan yang sangat besar), Kelenturan (bisa kembali kebentuk semula jika terkena deormasi), Ketangguhan (tidak mudah patah), Kekerasan (tahan terhadap penetrasi) dan Ketahanan Terhadap Korosi (dengan adanya paduan)^[ref. 10 hal. 11].

Jenis-jenis bentuk baja yang diproduksi di pasaran antara lain baja batangan, kawat, lembaran dan pipa^[ref. 10 hal. 15].

Diagram fasa Besi-Karbon

Diagram fasa besi-carbon (Fe-C) adalah suatu peta yang dapat digunakan untuk menunjukkan urutan operasi yang sesuai untuk proses *heat treatment*.



Gambar 1. Diagram fasa Fe-C^[ref. 4 hal. 3]

Besi adalah suatu unsur *alotropik*, pada tekanan atmosfer mungkin berada dalam lebih dari satu bentuk kristal yang bergantung pada temperatur. Besi alfa (*Ferrite*) berada sampai 912°C (1674 °F); besi gamma (*austenite*) berada antara 912 °C dan 1394 °C (1674 °F dan 2541 °F); dan besi delta (*ferrite delta*) berada dari 1394 °C (2541 °F) sampai pada titik-lebur besi murni, 1538°C (2800°F). Rentang temperatur dimana berbagai bentuk kristal besi stabil tersusun membuat batas vertikal yang kiri (besi murni berakhir) dari diagram fasa Fe-C ditunjukkan pada Gambar 2.9^[ref. 4 hal. 4].

Transformasi Fasa

Modifikasi struktur dari besi murni pada suhu ruang disebut *Ferrite* atau besi- α . *Ferrite* lunak dan ulet, dalam keadaan murni (komersial) kekuatan tariknya kurang dan 310 MPa. Bersifat *ferromagnetik* pada suhu dibawah 770°C. Berat jenis *ferrite* adalah 7,88 Mg/m³ (=7,88 g/cm³)^[ref. 2 hal. 377].

Pada paduan besi-karbon, jika karbon melebihi batas daya larut maka akan terbentuk fasa kedua, yang disebut karbida besi (*cementite*). Karbida besi

mempunyai komposisi kimia, Fe₃C. Berat jenisnya 7,6 Mg/m³ (=7,6 g/cm³)^[ref. 2 hal. 378].

Transformasi *eutectoid* pada baja menghasilkan struktur mikro unik yang disebut "*pearlite*". *Pearlite* adalah campuran khusus terdiri dari dua fasa dan terbentuk sewaktu *austenite* dengan komposisi *eutectoid* bertransformasi menjadi *ferrite* dan karbida. *Pearlite* terbentuk dari lamella-lamella yang berselang-seling antara *ferrite* dan *cementite*^[ref. 2 hal. 385].

Dalam paduan Fe-C dan baja, *austenite* adalah fasa awal yang bertransformasi menjadi *martensite* pada pendinginan. Transformasi *austenite* bersifat non-difusi, oleh karena itu *martensite* memiliki komposisi yang sama dengan fasa awalnya, *austenite*, kadar karbonnya mencapai 2 % berdasarkan pada kandungan komposisi paduannya. Karena tidak terjadi difusi, biasanya pada pendinginan cepat, atom karbonnya tidak terbagi menjadi *cementite* dan *ferrite*, akan tetapi terjebak dalam ruang *octahedral* struktur *body centered cubic*, yang menghasilkan sebuah fasa baru, yaitu *martensite*^[ref. 4 hal. 44].

Jika *martensite* dipanaskan pada temperatur dimana atom karbon mempunyai mobilitas, maka atom karbon berdifusi dari ruang *octahedral* untuk membentuk karbida. Hasilnya, ketetragonalannya rusak, dan *martensite* digantikan oleh campuran *ferrite* dan *cementite* seperti terlihat pada diagram fasa Fe-C. Dekomposisi *martensite* menjadi struktur yang lain pada pemanasan seperti diatas dikenal sebagai proses *temper*^[ref. 4 hal. 44].

Dua morfologi utama *martensite*, bilah dan plat berkembang dalam baja karbon yang bisa di *heat treatment*. Penandaan bilah digunakan untuk mendiskripsikan bentuk unit *martensite* yang terbentuk dari baja karbon rendah dan sedang. Dan penandaan plat secara akurat mendiskripsikan bentuk unit *martensite* yang terbentuk pada baja karbon tinggi^[ref. 4 hal. 61].

Bainite terbentuk dibawah kondisi *Continuous Cooling* atau transformasi *Isothermal* yang kondisi transformasinya *intermediate* diantara formasi *pearlite* dan *martensite*, sehingga struktur dan formasinya sama dengan keduanya, *pearlite* dan *martensite*. Sama seperti *pearlite*, *bainite* merupakan campuran dari fasa *ferrite* dan *cementite* yang karakteristiknya berdasarkan komposisi paduan dan perubahan temperatur. Sama seperti *martensite*, *ferrite* pada *bainite* berbentuk bilah ataupun plat yang mengandung dislokasi struktur^[ref. 4 hal. 75-76].

Ada dua bentuk utama *bainite*, *bainite upper* yang terbentuk pada rentang sedikit dibawah pembentukan *pearlite*, dan *bainite lower* yang terbentuk pada temperatur mendekati M_s^[ref. 4 hal. 76].

Diagram Transformasi Isothermal dan Continuous Cooling

Diagram yang mendefinisikan transformasi *austenite* sebagai fungsi waktu pada temperature konstan dikenal sebagai diagram *Isothermal*

Transformation (IT) atau diagram *Time Temperature Transformation* (TTT)^[ref. 4 hal. 85-86].

Banyak *heat treatment* yang dilakukan pada baja terjadi pada *Continous Cooling* dari pada penahanan *Isothermal*, dan sebagai hasilnya diagram yang merepresentasikan transformasi *austenite* pada pendinginan pada rentang yang bervariasi banyak dikembangkan. Tipe diagramnya disebut diagram *Continous Cooling* (CC) atau diagram *Cooling Transformation* (CT)^[ref. 4 hal. 88].

Perbedaan antara transformasi *Isothermal* dan *Continous Cooling*, diagram CT ditentukan dengan percobaan, walaupun masih ada perhitungan penting diagram CT dari diagram IT. Penggunaan *dilatometer quench*, dimana perubahan panjang dan temperatur dengan waktu pada sebuah spesimen secara simultan terekam, dan sekarang ditetapkan sebagai pendekatan utama untuk percobaan penentuan diagram CT^[ref. 4 hal. 91].

Proses Heat Treatment

Proses *annealing* adalah proses *heat treatment* dimana bahan mengalami pemanasan yang agak lama dengan disusul dengan pendinginan perlahan-lahan. Kita harus memperhatikan satu-persatu persatu untuk mengetahui hasil akhir suatu proses *heat treatment*^[ref. 2 hal. 437].

Secara umum proses *annealing* dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan tegangan sisa, meningkatkan keuletan (*ductility*) dan ketangguhan (*thoughness*), dan/atau untuk memproduksi struktur mikro yang spesifik. Proses *annealing* terdiri atas tiga tahap, yaitu: pemanasan pada temperatur yang diinginkan, penahanan pada temperatur tersebut, dan pendinginan menuju temperatur kamar^[ref. 2 hal. 437].

Dalam paduan besi, terdapat tiga jenis prosedur proses *annealing*, yaitu *Full Annealing*, *Normalizing* dan *Spherodizing*^[ref. 4 hal. 103].

Proses *temper* adalah *heat treatment* baja yang sudah diperkeras (*hardened steel*) yang digunakan untuk mengurangi kegetasan (*brittleness*) atau meningkatkan ketangguhan sebagai tujuan utamanya. Proses *temper* pada rentang 150 sampai 200 °C (300 sampai 400 °F) menghasilkan peningkatan ketangguhan yang mampu digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan tinggi dan ketahanan *fatigue* (baja karbon medium) atau dimana beban utamanya beban tekan seperti digunakan pada bearing dan gear (baja karbon tinggi). Rentang temperatur *temper* diatas 425 °C (800 °F) digunakan dimana ketangguhan tinggi sebagai tujuan utama, dan kekuatan dan kekerasan sebagai tujuan kedua^[ref. 4 hal. 188].

Proses *martemper* atau proses *quench* yang terpotong adalah suatu perlakuan pengerasan (*hardening treatment*) yang terdiri atas *quench* menuju suatu tempertatur diatas M_s , biasanya dengan proses *quench* di *salt bath*, penahanan selama waktu yang cukup pada temperatur tertentu sampai strukturnya menjadi seragam, dan kemudian didinginkan di udara sepanjang M_s menuju temperatur ruang^[ref. 4 hal. 232].

Pada Proses *Austemper*, *austenite* dibiarkan bertransformasi secara *isothermal* menjadi *ferrite* dan karbida diatas suhu M_s . Untuk ini diperlukan *quench* untuk mencegah terbentuknya *pearlite* pada suhu yang lebih tinggi. Keuntungan *austemper* ialah bahwa transformasi terjadi oleh pergeseran dan difusi, menghasilkan dispersi karbida halus dalam *ferrite* sehingga terjadi produk yang kuat dan tangguh^[ref. 2 hal. 460].

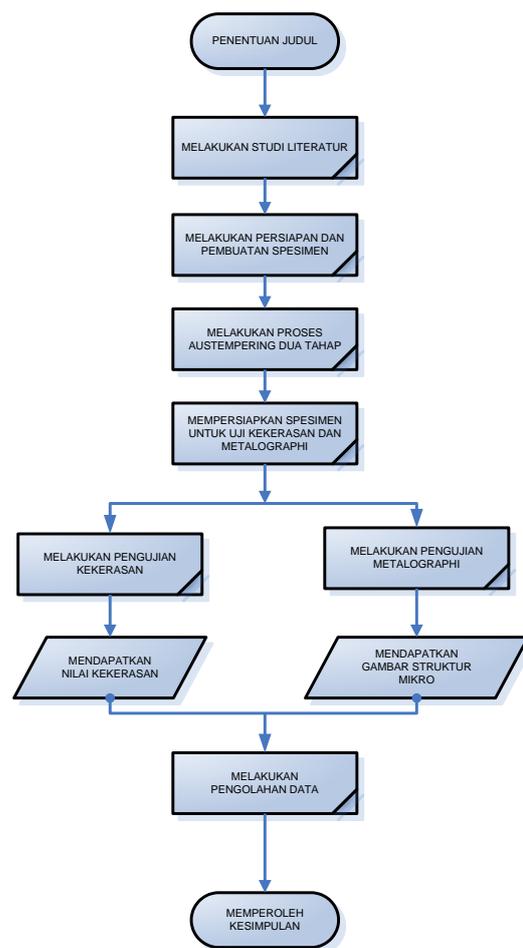
Ada dua jenis *Austemper* berdasarkan tahap proses penahanannya, yaitu satu tahap dan dua tahap.

Pengujian Material

Pengujian kekerasan dilakukan dengan standar Rockwell, yaitu menggunakan indentor *spherical diamond*-bentuk kerucut dengan sudut 120° dan radius ujung singgung 0,2 mm. Menggunakan skala A dengan beban minor 10 kg dan pembebanan mayor 60 kg^[ref. 12 hal. 195].

Pengujian struktur mikro menggunakan sifat optik (cahaya) pada logam dan paduannya melibatkan identifikasi dan pengukuran fasa, presipitasi, dan unsur pokok, dan menentukan bentuk dan ukuran butir, karakteristik batas butir dan cacat yang dapat diamati.

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Peralatan yang Digunakan

- Tungku Hoffman
- Salt Bath
- Light Microscope
- Mesin Amplas
- Mesin Gergaji
- Mesin Bubut

Spesimen Uji

Spesimen Uji menggunakan Material Baja 4140, yang diproduksi oleh PT. TIRA Austenite Tbk, yang memiliki kandungan paduan sebagai berikut:

Tabel 1. Kondisi paduan bahan penelitian

Unsur paduan	Kadar paduan (%)
C	0.38 – 0.45
Cr	0.90 – 1.20
Mo	0.15 – 0.30

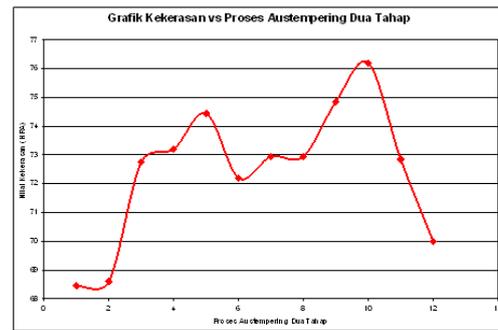
PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kekerasan

Tabel 2. Nilai kekerasan hasil pengujian

No	Jenis Proses	Nilai kekerasan (HRA)					Rata-rata (HRA)
		1	2	3	4	5	
1	NP	68.25	68.5	68.5	68.25	68.75	68.45
2	350-375	68.5	68	68.5	68.5	69.5	68.6
3	350-400	72.5	73	72.75	72.75	72.75	72.7
4	350-450	73.5	73.5	73	73	73	73.2
5	400-425	74	74.5	74.25	74.5	75	74.4
6	400-450	72	72	72.5	72.5	72	72.2
7	400-500	73.75	72.5	73.5	72.75	72.25	72.9
8	450-475	73	72.75	73.25	72.5	73.25	72.9
9	450-500	74.5	75	74.5	75.25	75	74.8
10	450-550	76.5	76.5	75.5	76	76.5	76.2
11	500-525	72.75	72.5	73	72.75	73.25	72.8
12	500-550	70	70	70	70	70	70

Dari data pada Tabel 1 diatas, bisa disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:

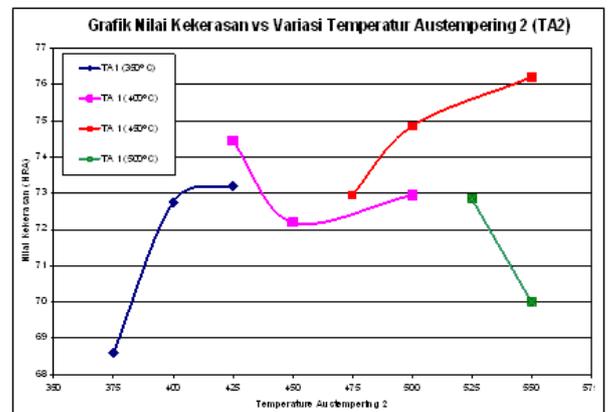


Gambar 3. Hubungan kekerasan dengan proses austempering

Dari Gambar 3 dapat kita ketahui bahwa nilai kekerasan material meningkat setelah dilakukan Proses Austemper Dua Tahap. Hal tersebut bisa dilihat dari nilai kekerasan awal material sebelum dilakukan proses sebesar 68.45 HRA merupakan nilai terendah dalam grafik tersebut.

Nilai kekerasan terus meningkat mencapai sekitar 74.45 HRA pada sekitar Proses Nomor 5. Kemudian nilai kekerasan turun mencapai sekitar 72.2 HRA pada sekitar Proses Nomor 6. Setelah turun pada sekitar Proses Nomor 6, selanjutnya nilai kekerasan material meningkat lagi mencapai nilai maksimal sekitar 76.2 HRA pada sekitar Proses Nomor 10. Selanjutnya nilai kekerasan turun mencapai 70 HRA di akhir proses.

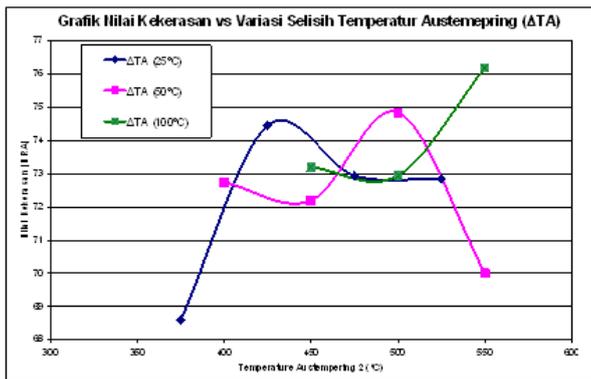
Dengan variasi Temperatur Austemper Kedua, akan menghasilkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. Hubungan kekerasan dengan temperatur austempering

Seperti terlihat pada grafik di atas pada TA 1 350° C dan 450° C, terjadi peningkatan nilai kekerasan. Sedangkan pada TA 1 400° C dan 500° C terjadi penurunan nilai kekerasan.

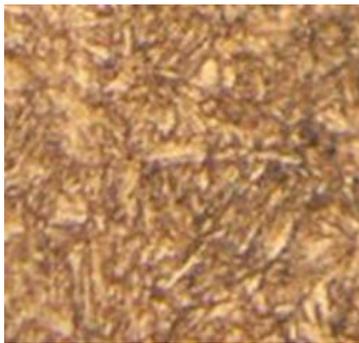
Dengan variasi ΔTA , akan menghasilkan grafik sebagai berikut:



Gambar 5. Hubungan kekerasan dengan variasi selisih temperatur austempering

Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa pada ΔTA 25° C memiliki nilai kekerasan maksimum sekitar 74.45 HRA pada TA2 disekitar 425° C. Pada ΔTA 50° C memiliki nilai kekerasan maksimum sekitar 74.85 pada TA2 disekitar 500° C. Sedangkan pada ΔTA 100° C memiliki nilai kekerasan maksimum pada TA2 500° C, yaitu sebesar 76.2 HRA.

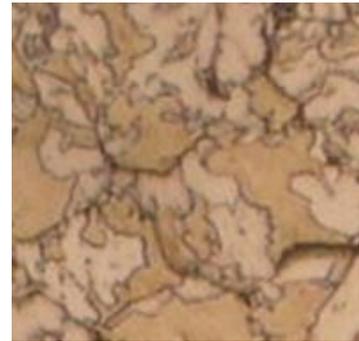
Pengujian Metalografi



Gambar 6. Struktur mikro baja ST-90 Non-perlakuan Perbesaran 500X. Nital 2%. Strukturnya *Martensite Temper*



Gambar 7. Struktur mikro baja ST-90 Austemper Dua Tahap dengan TA1 400° C dan TA2 425° C. Perbesaran 1000X. Nital 2%. Strukturnya *Bainite* dengan *Ferrite* dan *Cementite* berbentuk lamella.



Gambar 8. Struktur mikro baja ST-90 Austemper Dua Tahap dengan TA1 450° C dan TA2 500° C. Perbesaran 1000X. Nital 2%. Terbentuk karbida selain karbida besi (*cementite*), sebagai hasil dari *Secondary Hardening*.

Dengan semakin besar Temperatur *Austemper* akan menghasilkan butir *ferrite* semakin besar. Akan tetapi pada Temperatur *Austemper* Pertama 450 °C dan Temperatur *Austemper* kedua 500° C terjadi *Secondary Hardening* yang menghasilkan karbida paduan.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian perlakuan panas *Austemper* Dua Tahap terhadap material Baja ST-90 ini dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain sebagai berikut:

1. Secara umum nilai kekerasan material meningkat dari nilai kekerasan material awal.
2. Secara umum proses *Austemper* menghasilkan struktur mikro *bainite*,
3. Nilai kekerasan tertinggi berada pada TA1 450 °C dan TA2 550° C, yaitu sebesar 76.2 HRA, karena pada proses terbentuk karbida selain karbida besi (*cementite*).
4. Seharusnya dengan semakin tinggi Temperatur *Austemper* Kedua, maka menghasilkan nilai kekerasan yang menurun. Namun dalam pengujian ini nilai kekerasannya berfluktuasi. Hal ini disebabkan karena data variasi Temperatur *Austemper* Kedua dalam pengujian ini terlalu sedikit.
5. Dengan semakin besar selisih (ΔTA), seharusnya akan menghasilkan nilai kekerasan yang semakin menurun, karena butir *ferrite* akan tumbuh semakin besar. Akan tetapi pada TA1 450 °C dan TA2 500° C terjadi peningkatan nilai kekerasan karena adanya *Secondary Hardening* yang menghasilkan karbida paduan.

DAFTAR PUSTAKA

1. William D. Callister, Jr., 1994, *Material Science and Engineering*, John Willey & Son Inc., New York.
2. Van Vlack, Ir. Ny. Sriatie Djaprie M.E., M.Met., 1986, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Erlangga, Jakarta.

3. The DTI Manufacturing Advisory Service, 2005, *Materials Iron and Steel*, The International Iron and Steel Institute, UK.
4. George Krauss, 1980, *Principles Of Heat Treatment Of Steel*, AMAX foundation professor, Colorado.
5. Glyn Meyrick, Professor Emeritus, Robert H. Wagoner, *Physical Metalurgi Of Steel*, 2001
6. Serdar Z. Elgun, *Cast Iron*, 1999
7. Prof. Ir. Tata Surdia M.S. Met. E., Prof. Dr. Kenji Chijiwa, 1996, *Teknik Pengecoran Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
8. K.L. Hayrynen, K.R. Brandenberg, J.R. Keough, 2002, *Applications of Austempered Cast Irons*, Applied Process Technologies Division, Livonia, MI.
9. Jianghuai Yang, Susil K. Putatunda, 2004, "Improvement in strength and toughness of austempered ductile cast iron by a novel two-step austempering process", Department of chemical Engineering and Material Science, Wayne State University, Detroit USA
10. H. W. Nuijten, 2007, *Basic Handbook Professional Construction of Water Pipe System*, OASEN, The Netherlands, Gouda Dutch
11. Professor Maurice Grech, *Tribological and Mechanical Characteristics of Shot Peened and Surface Coated / Modified Austempered Ductile Iron Gears*, Metalurgy and Material Department, University of Malta, Malta
12. Harmer E. Davis, George Earl Troxell and Clement T. Wiskoci, 1964, *The Testing and Inspection of Engineering Material 3rd Edition*, McGraw-Hill Book Company, New York
13. ASM Handbook Volume 9, 2004, *Metallography and Microstructure 2004*, ASM International, USA