

Studi Proses Austempering dan Tempering Baja AISI 1095 Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan

Slamet Sutjipto

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung 40012
E-mail: slamet.sutjipto@polban.ac.id

ABSTRAK

Baja AISI 1095 untuk komponen kendaraan seperti baut, gear, pulli dan beberapa komponen lainnya, memiliki mampu keras dan ketahanan aus yang baik. Sifat mekanik ini dapat di tingkatkan dilakukan melalui proses perlakuan panas seperti hardening, austempering, dan tempering. Proses hardening adalah proses pemanasan pada suhu austenisasi (γ) dilanjutkan pendinginan cepat dengan media air sehingga austenit akan bertransformasi martensite (M). Pemanasan austempering pada suhu austenisasi disertai pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media garam cair pada temperatur antara 200°C s.d 400°C atau di atas *martensite start* (Ms) sehingga austenite bertransformasi menjadi bainite. Proses tempering adalah proses pemanasan kembali hasil pengerasan baja (*hardening*) untuk menghasilkan sifat mekanik baru. Komparasi kekerasan hasil annealing, pendinginan cepat (*quenching*) menunjukkan 26,4 HRC dengan struktur mikro austenit dan perlit sedangkan hasil pendinginan cepat memiliki kekerasan 68,6 HRC dengan struktur mikro austenit sisa dan martensite. Austempering 350°C (53,4HRC); 400°C(49,8 HRC); 450°C(44,4 HRC); 500°C(43,5 HRC). Tempering 350°C(55,3 HRC); 400°C(49,5 HRC) 450°C(44,4 HRC); 500°C(43,5 HRC).

Kata kunci , AISI 1095, austenite, austempering, tempering, martensite, hardening.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi perlakuan panas (*heat treatment*) mengalami perkembangan seiring dengan tuntutan akan kualitas komponen mekanik. Kualitas komponen mekanik musti dijadikan alat pengendali sesuai dengan fungsinya namun juga harus memperhatikan aspek biaya proses manufacturing [1], [2].

Tingkat persaingan industri komponen mengalami peningkatan yang sangat tajam, tentang bagaimana menghasilkan produk manufaktur yang memiliki ke-ekonomisan [3]. Dari spektrum ini material komponen mekanik yang memiliki biaya tinggi dari proses manufaktur musti diturunkan, tanpa harus menurunkan kualitas.

Pemilihan material sesuai dengan fungsi tidak terpisahkan dalam disain produk. Dari aspek material dilakukan dengan menurunkan volume material logam dan juga melakukan pengubahan sifat mekanik (*treatment materials*).

Teknik pengubahan sifat mekanik material logam seperti meningkatkan keuletan, ketangguhan, kekuatan lelah, dan kekerasan komponen mekanik terus dilakukan melalui *perlakuan panas dan perlakuan permukaan*(*surface treatment*) serta pengerasan permukaan(*surface hardening*) [4].

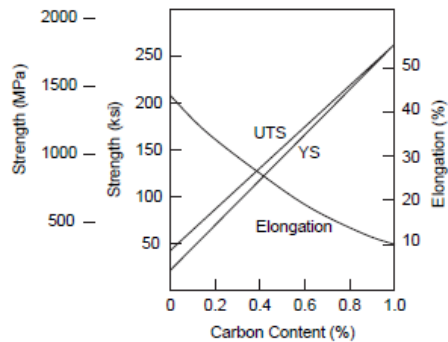
Pada teknik pengerasan konvensional (*hardening*) dalam banyak industri menimbulkan persoalan dari aspek fungsi bagian dan sifat mekaniknya. Hasil pengerasan baja menyebabkan baja menjadi keras, getas, dan mudah retak, ketangguhan menurun. Untuk mengatasi kekurangan hasil pengerasan dapat dilakukan dengan *martempering, austempering, dan juga tempering* [5].

Material AISI 1095, merupakan jenis baja struktur dengan kandungan unsur karbon menengah, dengan varian unsur lain dengan jumlah terbatas maksimum [1]. Penggunaan baja struktur dan baja paduan masih cukup tinggi, hal ini disebabkan karena rentang sifat mekaniknya yang cukup luas [1].

Adapun sifat mekanik dapat ditingkatkan melalui (1) penghalusan butir; (2) pengerasan regang; (3) menambahkan unsur paduan dan (4) melalui perlakuan panas [1]-[3]. Baja memiliki struktur kristal *polytropic* atau *allotropic* artinya sel satuannya mengalami perubahan dari bcc (*body centre cubic*), fcc (*face centre cubic*) dan kembali ke bcc apabila temperatur dinaikkan dari suhu kamar ke suhu yang lebih tinggi [4].

Pada saat proses pengerasan pemanasan dilakukan pada suhu austenisasi γ , dilanjutkan dengan penahanan temperatur (*holding time*) dan diikuti dengan pendinginan cepat. Dalam kondisi

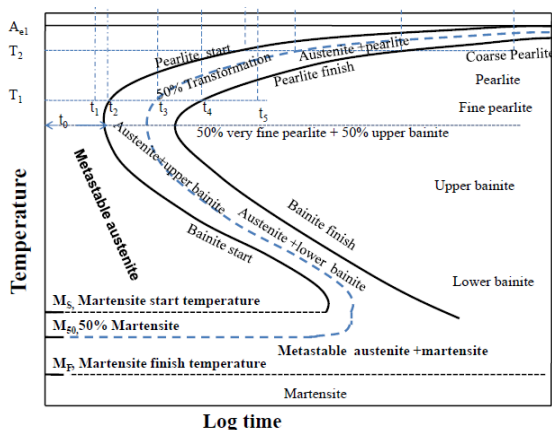
pendinginan cepat tidak terjadi difusi karbon sehingga terjadi perubahan sel satuan dari fcc menjadi sel satuan bct (*body centre tetragonal*) [4], [5]. Pengaruh kandungan unsur karbon pada baja akan sangat mempengaruhi hasil pengerasan, semakin tinggi % karbon kekerasan logam akan semakin tinggi [6]. Pengaruh perlakuan panas % karbon (C) terhadap nilai kekerasan, UTS dan YS Gambar 1



Gambar 1 pengaruh persentase karbon vs kekuatan tarik (UTS), keuletan luluh (YS) dan perpanjangan [6]

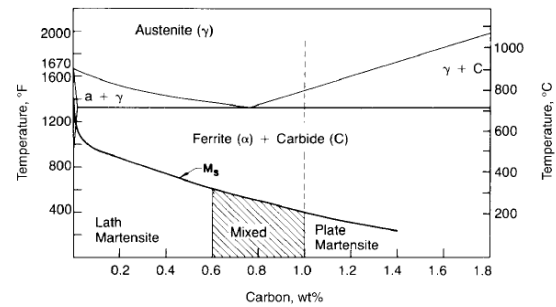
1.1 Transformasi Austenit ke Martensite

Transformasi fasa austenite ke fasa martensite dapat dijelaskan dengan pendekatan diagram *isothermal temperature transformasi* (ITT) Gambar 2 [7]. Bahwa proses transformasi martensite sangat cepat tanpa terjadi difusi karbon (*athermal*). Martensite akan terbentuk pada saat temperatur mencapai martensite start (M_s) dan berakhir pada martensite finish (M_f).



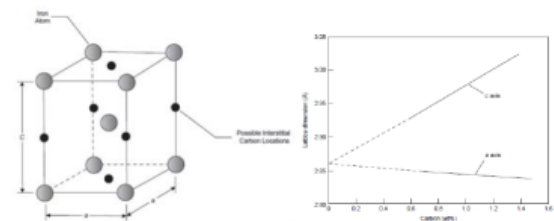
Gambar 2 Diagram ITT baja eutektoid [7]

Morfologi martensit dibedakan dalam % C yakni *lath martensit*, *mixed martensite* dan *plate martensite* Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh karbon terhadap pembentukan martensite [7]

Perbedaan antara ketiga jenis martensite dapat diamati dengan menggunakan teknik metalografi. Pengaruh unsur karbon terhadap sel satuan tetragonal diukur dari rasio c/a dimana harga c akan naik dengan bertambahnya unsur karbon dan kisi a akan mengalami penurunan Gambar 4 [1], [2].



Gambar 4 Perubahan kisi bcc ke fcc [1], [2]

Perhitungan temperatur kritis A_{C1} dan A_{C3} [4] dengan menggunakan persamaan (1) dan (2)

$$A_{C1} (^{\circ}\text{C}) = 723 - 20,7\text{Mn} - 16,9\text{Ni} + 29,1\text{Si} - 16,9\text{Cr} \quad (1)$$

(standar deviasi $\pm 11,5^{\circ}\text{C}$)

$$A_{C3} (^{\circ}\text{C}) = 910 - 203 \sqrt{C} - 15,2 \quad (2)$$

$\text{Ni} + 44,7\text{Ni} + 104\text{V} + 31,5\text{Mo}$ (standar deviasi $\pm 16,6^{\circ}\text{C}$)

Sedangkan perhitungan Martensite Start (M_s) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (3) atau (4) sedangkan untuk baja karbon rendah menggunakan persamaan (5)

$$M_s (^{\circ}\text{C}) = 538 - (361x\%C) - (39x\%\text{Mn}) - (19x\%\text{Ni}) - (39x\%\text{Cr}) \quad (3)$$

Andrews presented in 1965 by Andrews [5]

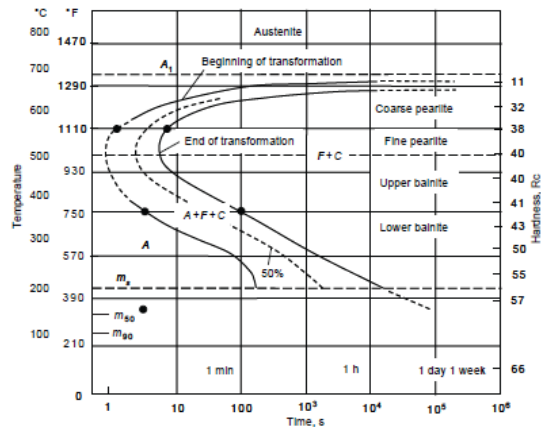
$$M_s (^{\circ}\text{C}) = 539 - 423C - 30,4\text{Mn} - 12,1\text{Cr} - 17,7\text{Ni} - 7,5\text{Mo} \quad (4)$$

Untuk baja karbon rendah 0,02 wt %, menggunakan persamaan Liu [5].

$$M_s (^{\circ}\text{C}) = 525 - 350(C - 0,005) - 45\text{M} - 35\text{V}(\text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ti}) - 30\text{Cr} - 20\text{Ni} - 16\text{Mo} - 8\text{W} - 5\text{Si} + 6\text{Co} + 15\text{Al} \quad (5)$$

1.2 Transformasi Austenit ke Bainite (Austempering)

Dari aspek metalurgi proses austempering dilakukan dengan pendekatan ITT (*Isothermal Temperatur Transformation*) [2], [3] dimana transformasi austenit dilakukan di bawah transformasi austenite-perlite Gambar 5.



Gambar 5. ITT- Tranformasi Bainite [2]

Hasil proses tersebut menghasilkan struktur bainite yang merupakan struktur campuran non lamellar ferite dan karbida sementit [7].

Struktur bainite yang terbagi menjadi dua bagian yaitu bainite atas transformasi terjadi pada temperatur (350 s.d 550°C) dan bainite bawah transformasi terjadi pada temperatur (250 s.d 350°C) [6].

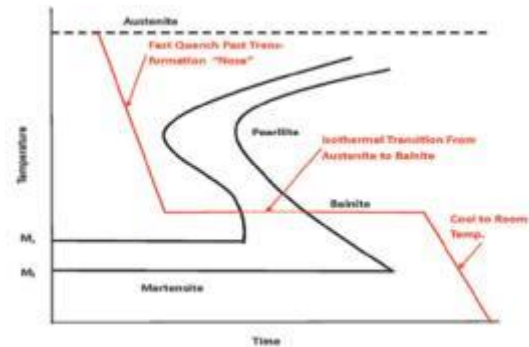
Perhitungan transformasi dari austenit ke bainite dihitung dengan persamaan Zhao untuk baja paduan rendah dengan persamaan (6) [4].

$$B_s(^{\circ}\text{C}) = 630 - 45\text{Mn} - 40\text{V} - 35\text{Si} - 30\text{Cr} - 25\text{Mo} - 20\text{Ni} - 15\text{W} \quad [4] \quad (6)$$

Bainite memiliki struktur mikro dua fasa (ferite dan sementite). Sementit dan ferite akan mengintip pada butir austenit, dalam bentuk perlite plate ketimbang lamelar [6].

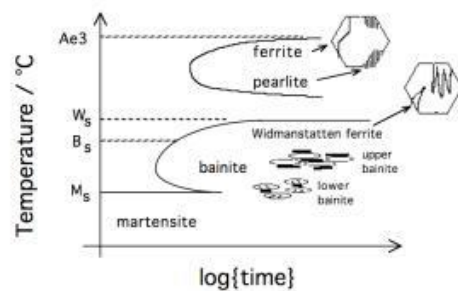
1.3 Pembentukan Bainite

Pembentukan Bainite dilakukan dengan ITT pada suhu dibawah 550°C. Bainite start diawali dengan pengintian *perlite* pada batas butir *austenit*. Kandungan karbon pada austenite akan meningkat dan secara bersamaan terbentuk plat sementit^[8]. Pada Gambar 6 transformasi *austenit* ke *bainite* dilakukan dengan *quenching* di atas *Ms* dengan *holding time* dan diikuti dengan pendinginan suhu kamar.



Gambar 6. Proses Austempering [3]

Morphologi terbentuknya bainite dipengaruhi temperatur pendinginan di atas martensite start (*Ms*)

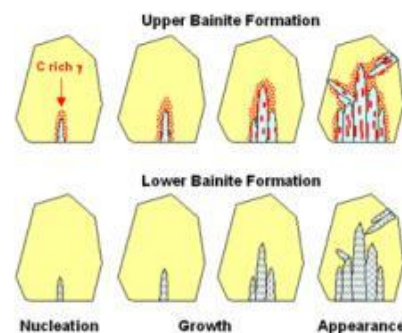


Gambar 7. Morphologi terbentuknya bainite[4]

Terlihat dari morphologi bahwa untuk mendapatkan *bainite* bawah dilakukan pada temperatur rendah dengan rentang 250 s.d 350°C, sedang rentang bainite atas diperkirakan terjadi pada rentang temperature 350 s.d 550°C.

Teorema transformasi bainite atas dan bainite bawah terjadi pada rentang transisinya dan perubahan fasa austenite menjadi bainite terjadi secara diffusi. Sedangkan kompetitif antara sementite dan karbon jenuh pada ferite membentuk partisi Gambar 8.

Pada temperatur rendah diffusi karbon dari ferrite ke austenit terjadi sangat lambat [4]. Detail proses diffusi antara upper bainite dan lower bainite tergantung dari bentuk presipitatnya [5].

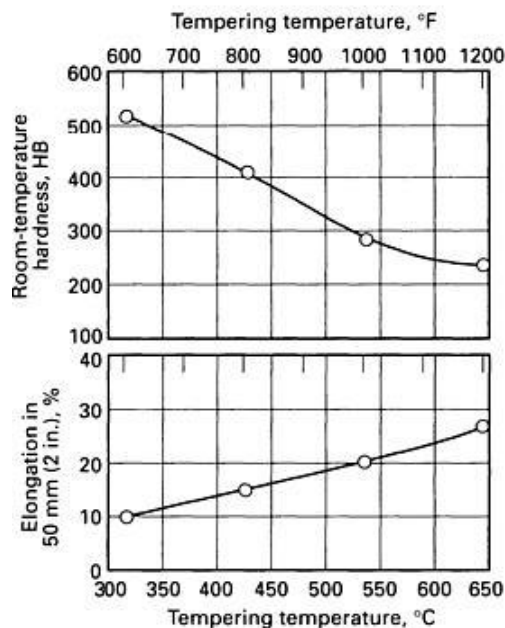


Gambar 8. Ilustrasi morphologi terbentuknya bainite [4]

1.4 Tempering

Hasil proses pengerasan menghasilkan baja menjadi keras, dan ketangguhannya menurun. Tempering proses pengaturan sifat mekanik baja hasil pengerasan menjadi lebih lunak dan ketangguhannya meningkat. Proses ini dapat dilakukan dengan memanaskan kembali baja hasil pengerasan pada rentang temperatur dibawah temperatur eutektoid (A_{e1}) [1]. Pada umumnya temperatur tempering dilakukan pada tingkat I (100 dan 250°C); tingkat II (200 s.d 300°C); tingkat III (250- 350°C) dengan waktu 1 s.d 2 jam.

Prediksi tempering adalah terjadi dikomposisi karbon dari kondisi martensit menjadi ferite dan perlit. Kondisi ini menyebabkan berubah dimensi atau tingkat tetragonal martensit. Hasil penelitian baja AISI 1085 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur tempering kekerasan logam semakin menurun Gambar 9 [2]. Dengan menurunnya kekerasan logam kekuatan logam juga semakin menurun.



Gambar 9. Pengaruh tempering baja AISI 1085, diuji dengan variasi temperatur [2]

2. PERCOBAAN

Spesimen percobaan bahan baja AISI 1095, dengan % C sekitar 0,95, dan data hasil spektrometri dituangkan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi kimia spesimen

%C	% Mn	%Si	% V	% Cr	%W
0,95	1,10	0,25	0,10	0,55	0,55

Data dimensi spesimen dengan ukuran diameter 10 mm dan panjang 10 mm, dengan jumlah spesimen

sekitar 10 buah. Satu spesimen dalam kondisi annealing dan hardening.

Rentang temperatur asutempering 350 s.d 500°C, untuk mendapatkan stuktur mikro bainite bawah sedang rentang bainite atas diperkirakan terjadi pada rentang temperature 350 s.d 500°C dengan penahanan temperatur pada 1 jam.

Tabel 2. Spesimen uji austempering dan tempering

Spesimen	Temperatur austempering °C	Waktu (jam)	Tempering	Waktu (jam)
1	350	1	250	1
2	400	1	300	1
3	450	1	350	1
4	500	1	400	1

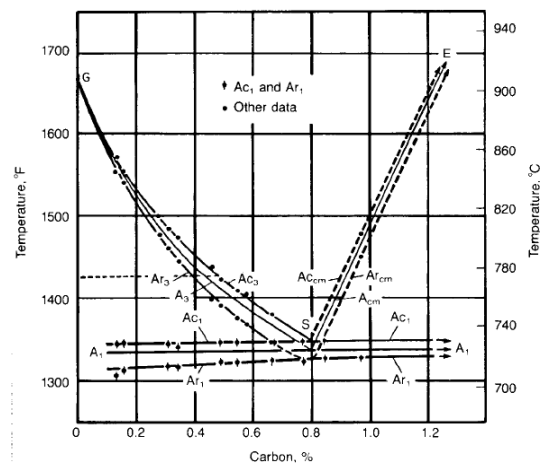
2.1 Bath Quenching Austempering

Untuk mendapatkan quenching di atas M_s menggunakan air garam (*Nitrate-Nitrite Salt*) NO_3 dan NO_2 . mengikuti Tabel 4.

Tabel 3. Bak queching air garam [1]

Bahan Quenching	Perkiraan (%)
Sodium nitrat[$NaNO_3$], %	25 45
Potasium nitrat[KNO_3], %	55 2
Sodium nitrit[$NaNO_2$], %	175-540°C
Air	
Temperatur kerja. °C	

Perhitungan temperatur kritis full annealing dengan menggunakan Gambar 10 bahwa temperatur kritis (A_{c3}) sekitar 805°C dengan fasa austenit (γ) dan sementit (Fe_3C).



Gambar 10. temperatur transformasi [2]

Perhitungan M_s menggunakan persamaan (3) didapat harga $M_s = 91^\circ\text{C}$, sedangkan bainite start (B_s) menggunakan persamaan (6) diperoleh $B_s = 539^\circ\text{C}$.

2.2 Penyiapan proses perlakuan panas

Proses ini dilakukan untuk semua tahapan perlakuan panas meliputi annealing, hardening, austempering dan tempering Gambar 11.



Gambar 11. Annealing

Hardening dilakukan pendinginan cepat dengan media pendingin air. Pemanasan spesimen pada suhu austenisasi sekitar 850°C Gambar 12.



Gambar 12. Hardening proses 850°C pendinginan air

Austempering proses pendinginan cepat dengan media mendingin garam cair pada suhu 350, 400, 450 dan 500°C dengan waktu satu jam (60 menit) Gambar 13.



Gambar 13. Proses austempering

Tempering proses ini dilakukan dengan memanaskan kembali hasil hardening pada suhu 350, 400, 450, 500°C dengan waktu satu jam (60 menit) Gambar 14.



Gambar 14. Proses tempering

Metalografi



Gambar 15. Mikroskop optik

Uji keras mikro

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan uji keras mikro. Tahapan ini pengujian kekekerasan dengan menempatkan spesimen dengan pengamatan lensa obyektif. Pengukuran kekerasan dengan menggunakan metoda vickers Gambar 16.

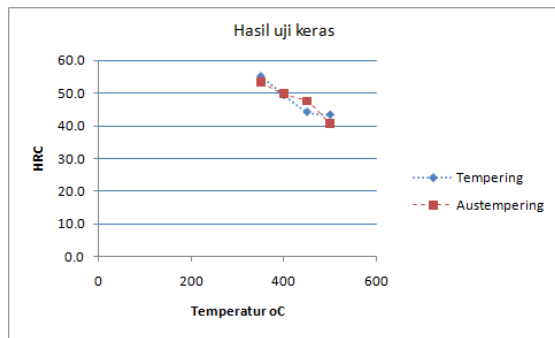


Gambar 16. Uji keras mikro

Hasil uji keras dari hasil annealing, quenching, austempering dan tempering ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. hasil uji keras prases perlakuan panas

Annealing	Quenching	Temper(oC), austemper	T(Hrc)	Aus(Hrc)
26.3	68.4	350	55.3	53.4
26.5	68.8	400	49.5	49.8
26.4	68.6	450	44.4	47.6
26.4	68.6	500	43.5	40.7

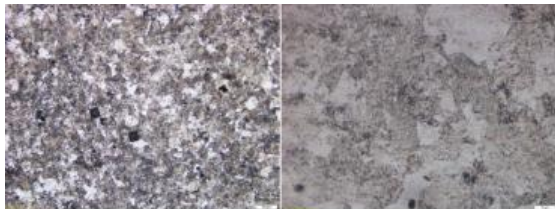


Gambar 17. Hasil uji keras

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

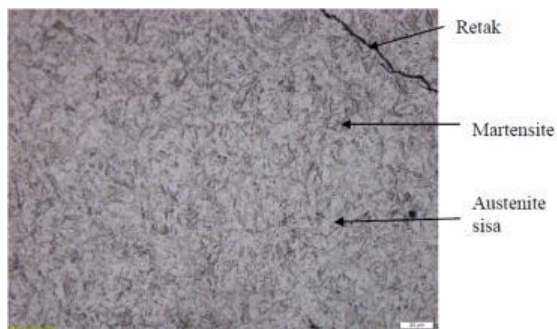
3.1 Struktur mikro awal

Hasil proses annealing ditunjukkan pada Gambar 18, dimana struktur mikro terdiri dari austenit dan perlite.



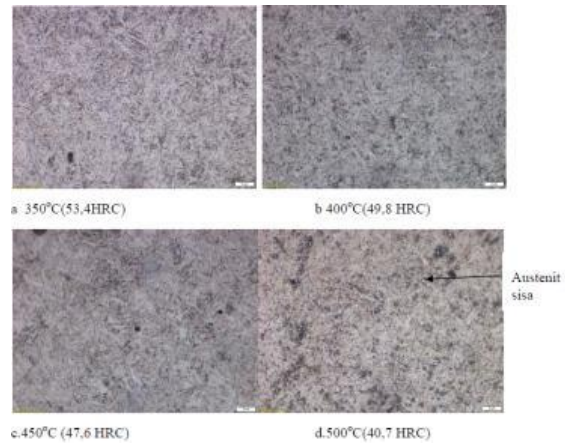
Gambar 18 (a) pembesaran 20X; (b) pembesaran 100 x. Etsa Nital 3%, struktur mikro austenit (terang) dan perlite (gelap), kekerasan 26.4 HRC

Proses pendinginan cepat (*quenching*) dengan menggunakan air sebagai media pendingin menunjukkan bahwa struktur mikro martensite, dan austenit sisa dengan sebagian dari struktur mengalami keretakan yang dimulai dari sisi luar kearah dalam Gambar 19.



Gambar 19. Struktur mikro hardening pembesaran 50X etsa nital 3%, kekerasan 68,6 HRC

3.2. Struktur mikro austempering



Gambar 20. a. b. c. dan d. struktur bainite dan terdapat autenit sisa dalam bentuk pertikel bulat etsa nital 3 % pembesaran 100X

3.3. Struktur mikro tempering



Gambar 21. a. b. c. dan d. struktur mikro hasil tempering masih terdapat austenit sisa warna terang dan martensite

4. KESIMPULAN

Dari analisis data pada bagian 3.1 dapat disimpulkan bahwa material dengan kandungan karbon 0,95 % AISI 1095 hasil annealing memiliki struktur mikro austenit dan perlite dengan kekerasan rendah 26,4 HRC. Hasil pendinginan cepat dengan menggunakan air memiliki struktur mikro martensite dan terdapat austenite sisa yang tidak bertransformasi. Hasil perhitungan $M_s = 91^{\circ}\text{C}$ dengan kekerasan 68,6 HRC dan terdapat retak. Hasil pengujian austempering memiliki struktur mikro bainite dan terdapat autenit

sisanya dalam bentuk pertikel bulat dengan range kekerasan 40,7 s.d 53,4 HRC. Struktur mikro hasil tempering masih terdapat austenit sisa warna terang dan martensite dengan rentang kekerasan 43,5 sd 55,3 HRC. Dilihat dari perbandingan struktur mikro antara hasil austempering dan tempering tidak terdapat perbedaan yang signifikan, hal yang sama terhadap hasil nilai kekerasan. Hal ini disebabkan karena model austempering masih menggunakan bath konvensional dan sulit memastikan temperatur cairan garam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Metal Hand Book Volume 4 Heat Treating 1991
- [2] Elements of Metallurgy and Engineering Alloys, ASM International 2008
- [3] R. E. Smallman, *CBE, DSc, FRS, FREng, FIM*; R. J. Bishop, *PhD, CEng, MIM* Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering Science, process, applications -1999
- [4] K-E Thelning Steel and Heat Treatment
- [5] JOURNAL OF IRON AND STEEL RESEARCH. INTERNATIONAL. 2010. M H Shaeri , H Saghafian , S G Shabestari Effects of Austempering and Martempering Processes on Amount of Retained Austenite in Cr-Mo Steels (FMU-226) Used in Mill Line
- [6] Estonian Journal of Engineering, 2012, Influence of steel austenitization to part quality in continuous austempering.
- [7] Hindawi Publishing Corporation ISRN Tribology Volume 2013, Article ID 515484, 6 pages <http://dx.doi.org/10.5402/2013/515484>; Effect of Austempering and Martempering on the Properties of AISI 52100 Steel.
- [8] Proceedings of the 28th ASM Heat Treating Society Conference October 20–22, 2015, Detroit, Michigan, USA
- [9] Nikša Čatipović 1,*, Dražen Živković 1, Zvonimir Dadić 1, Marin Viceić 1 Influence of the salt bath agitation and austempering temperature on the microstructure of austempered ductile iron;-Correspondence: Niksa.Catipovic@fesb.hr