

PERLAKUAN PANAS PADA BAJA KARBON: EFEK MEDIA PENDINGINAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO

Nasmi Herlina Sari

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat
E-mail: n.herlinasari@unram.ac.id

Abstrak--*Dalam paper ini, proses modifikasi sederhana diperkenalkan untuk menyelidiki efek media pendinginan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dari baja karbon rendah. Lembaran baja karbon rendah dibentuk dan dipanaskan dalam oven pada suhu 900 °C selama 30 menit dan didinginkan menggunakan media pendinginan yang berbeda, yaitu: air (quenching), udara (normalizing) dan pendinginan dalam oven (annealing). Sifat mekanik, meliputi kekuatan tarik, kekuatan impak dan struktur mikro ditentukan menggunakan mesin ultimate tensile machine dan impact machine. Mikrostruktur baja juga telah diselidiki dan dianalisa menggunakan microscope metallurgy dan telah dibandingkan dengan bahan baku baja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan baja menggunakan media air lebih tinggi dibandingkan dengan media lain yang dipelajari; dikarenakan deformasi struktur ferrit menjadi pearlit. Inter-critical sampel uji annealing (AN) pada suhu 900 °C menunjukkan ferit-martensit fase ganda dan menunjukkan sifat mekanik yang sangat baik bila dibandingkan dengan sampel uji (NO), (QE) dan tanpa perlakuan (RM). Hasil ini bermanfaat untuk peneliti dan industriawan sebagai dasar untuk pengembangan sifat baja menjadi produk industri yang diinginkan.*

Kata kunci: Annealing, normalizing, perlakuan panas, sifat mekanik dan quenching,

Abstract--*In this paper, a simple modification process was introduced to investigate the effects of cooling media on microstructure and mechanical properties of low carbon steels. Low carbon steel sheets are formed and heated in an oven at 900 °C for 30 minutes and cooled using different cooling media, namely: water (quenching), air (normalizing) and annealing cooling. Mechanical properties, including tensile strength, impact strength and microstructure are determined using the ultimate machine tensile machine and impact machine. Microstructures of steel have also been investigated and analyzed using microscope metallurgy and have been compared with steel raw materials. The results showed that the hardness of steel using water media is higher than the other media being studied; because the deformation of the ferrite structure becomes pearlite. Inter-critical samples of annealing tests at temperatures of 900 °C exhibit ferrite-martensite double phases and exhibit excellent mechanical properties when compared to NO, QE and RM test samples. These results are useful for researchers and industrialists as a basis for the development of steel properties into desired industrial products.*

Keywords: Annealing, normalizing, heat treatment, mechanical properties and quenching

1. PENDAHULUAN

Meskipun sejumlah besar bahan tersedia, baja telah digunakan dalam berbagai aplikasi karena fasilitas untuk mendapatkan mereka dan juga untuk sifat berbeda yang diperoleh dengan proses perlakuan panas, termasuk biaya yang rendah, dan dengan mempertimbangkan bahan baku dan produksi baja di seluruh dunia sekitar 6.10^9 ton per tahun. Baja adalah paduan Fe-C (kandungan Carbon maksimum sekitar 2%) yang dapat mengandung elemen paduan lainnya, sesuai dengan aplikasinya. Bahkan variasi rendah dalam komposisi tersebut dapat menyebabkan perbedaan besar dalam sifat mekanik, karena struktur akhir dapat berubah sesuai dengan pengolahan manufaktur dan juga siklus perlakuan panas yang diterapkan [1].

Dewasa ini, aplikasi industri pembentukan lembaran baja mencari bahan dengan potensi

deformasi plastis dan kekuatan tinggi. Tantangan ini tidak mudah dicapai, karena biasanya kenaikan kekuatan baja selalu disertai dengan penurunan elongasi [2]. Naeem et. al (2016)[3] telah menyelidiki baja karbon biasa yang diproses dengan teknik *cathodic cage plasma nitriding* (CCPN) menggunakan *austenitic stainless steel cathodic cage* (CC) memiliki variabel diameter (13–21 cm). Mereka melaporkan bahwa proses *nitriding* secara signifikan meningkatkan kekerasan baja tanpa pra-perlakuan atau pencampuran paduan. Kemudian, Sergey et al. (2016)[4] telah mempelajari ketangguhan impak dari spesimen baja 12Cr1MoV pada temperatur mulai dari 20 °C sampai 600 °C. Mereka melaporkan bahwa peningkatan temperatur pengujian dari 20 °C sampai 375 °C dan kemudian menjadi 600 °C menyebabkan ketangguhan impak dari baja menurun sebesar 1.2 dan 2.42 kali, berturut-turut. Souki et al [5] telah

mempelajari pengaruh perlakuan panas terhadap ketangguhan patah dan dan perambatan retak dalam baja martensitik cromium 5%. Mereka melaporkan bahwa Kekuatan tinggi baja kromium 5% pada suhu tinggi secara langsung berhubungan dengan mikrostruktur kompleks yang dihasilkan oleh perlakuan panas spesifik yang terdiri dari austenitisasi. Mengubah temperatur austenitisasi, yaitu ukuran butiran dan morfologi karbida primer, tidak mengubah karakteristik fraktur dari baja.

Sedangkan, Phoumiphon et al. [6] telah menyelidiki sifat mekanik dari baja karbon biasa dengan teknik *cold-rolled*. Mereka melaporkan bahwa spesimen *annealed* pada suhu 850°C menunjukkan mikrostruktur dua fase terdiri dari *ferrite – martensite* memiliki kekerasan dan kekuatan yang baik yaitu sebesar 172.88 HV dan 540.11 MPa dibandingkan dengan spesimen *annealed* pada temperatur 800°C dan 750°C. Studi – studi ini menunjukkan bahwa penelitian terkait dengan efek media pendinginan terhadap sifat mikrostruktur dan mekanik baja karbon belum di selidiki oleh para peneliti.

Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki untuk menyelidiki efek media pendinginan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dari baja karbon rendah ST 37. Penelitian bermanfaat untuk peneliti dan industriawan untuk mengembangkan sifat baja menjadi produk industri yang diinginkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Baja ST-37. Kandungan kimia Baja ST-37, yaitu Carbon, Silikon, Mangan, Posfor, Sulfur, Cromium, dan Nikel masing-masing sebesar 0.11, 0.03, 0.56, 0.007, 0.005, 0.07 dan 0.03 (% berat) berturut-turut (Naeem et al. 2016)[3].

2.2 Proses perlakuan panas pada sampel uji

Sampel uji baja ST 37 (lihat dalam Gambar 1) dibersihkan dan diletakkan dalam pemanas. Sampel dipanaskan dalam oven sampai temperatur 900 °C selama 30 menit. Selanjutnya, proses *quenching* dilakukan dengan mencelupkan sampel uji ke dalam air. Untuk proses *normalizing*, sampel uji dikeluarkan dari oven dan dibiarkan dalam suhu ruangan (temperatur 29°C) sampai sampel uji mencapai temperatur kamar. Sedangkan, untuk proses *annealing*, setelah pemanasan, sampel uji dibiarkan di dalam oven sampai mencapai suhu kamar. Kode sampel uji untuk masing-masing proses perlakuan panas ditunjukkan dalam Tabel 1.

Empat jenis sampel uji baja berbeda dihasilkan untuk masing-masing pengujian. Tiap-tiap pengujian dilakukan pengulangan

sebanyak tiga kali sehingga diperoleh nilai rata-rata dari masing-masing parameter uji.

Tabel 1. Kode sampel uji untuk masing-masing proses perlakuan panas

Spesimen	Kode
Tanpa perlakuan	RM
Normalizing	NS
Quenching	QE
Annealing	AR

2.3 Sifat mekanik Baja

a. Kekuatan Impak

Kekuatan impak dari sampel uji baja diukur dengan menggunakan mesin uji *impact Charpy*. Foto mesin uji impak diperlihatkan dalam Gambar 2. Batang uji diletakkan mendatar dan ujung – ujungnya ditahan kearah mendatar oleh penahan yang berjarak 40 mm.



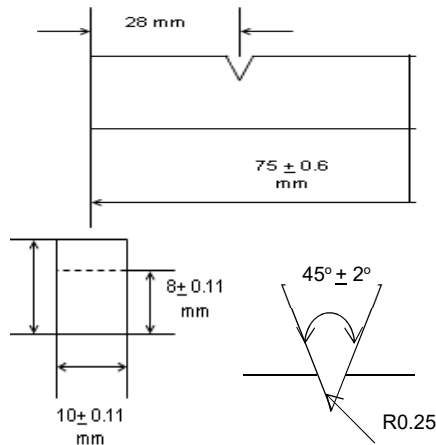
Gambar 2. Mesin uji Impak

Bandul berayun akan memukul batang uji tepat dibelakang takikan. Pada ujung batang dipasang pemukul yang diberi pemberat. Batang uji diletakkan dibagian bawah alat dan takikan tepat berada pada bidang lintasan pemukul. Selanjutnya, energi patah sampel uji ditentukan dengan persamaan 2.

$$E = W (h_2 - h_1), \text{ atau}$$

$$E = W \ell (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2)$$

dengan, E adalah energi patah sampel uji (Joule); h_2 adalah ketinggian pendulum setelah keadaan patah (m) adalah h_1 adalah ketinggian pendulum sebelum diayunkan (m); W adalah berat pendulum (kg); ℓ adalah jarak antara titik berat dari pendulum ke sumbu; $\cos \beta$ adalah sudut awal ($^\circ$) dan $\cos \alpha$ adalah sudut akhir ($^\circ$). Skema bentuk sampel uji impak diperlihatkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk sampel uji impact

b. Kekerasan

Pengukuran kekerasan menggunakan mesin uji Rockwell. Sampel uji berukuran diameter 2 cm dan ketebalan 2 cm dipersiapkan. Set indenter beserta landasannya. Selanjutnya, set beban yang telah ditentukan. Tahan beban dengan menarik test lever berlawanan jarum jam. Sampel uji diletakkan diatas landasan *anvil holder screw*. Putar *hand wheel* searah jarum jam. Putar piringan skala dan amati jarum panjang tepat pada angka nol skala hitam dan tarik test lever searah jarum jam perlahan-lahan. selanjutnya, baca skala *Rockwell*.

2.4 Struktur mikro

Sampel uji dengan panjang 5 mm di polishing menggunakan amplas berukuran mulai dari grade 120 – 1000 mm². Selanjutnya, permukaan sampel uji dipoles dengan autosol dan dibersihkan dengan kain sutra. Etsa dilakukan menggunakan HNO₃ sebesar 1 – 5 ml dan alkohol 95 % sebesar 100 ml selama 0.5 menit, kemudian diamati dibawah mikroskop metalurgi dan mengambil foto mikro dari masing-masing sampel uji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Nilai Kekerasan Baja

Hasil pengukuran kekerasan baja diperlihatkan dalam Gambar 4. Dalam Gambar 4 ditemukan bahwa kekerasan baja *quenching* lebih tinggi sebesar 156 kg/mm² daripada *raw material*, baja *normalizing* (NO), dan baja *annealing* (AN) sebesar dan 160 kg/mm² 146.4 kg/mm², dan 135 kg/mm² berturut-turut. Pemanasan sampel uji pada 900 °C selama 30 dan pendinginan cepat menggunakan media air telah menghasilkan struktur martensit dalam baja (lihat dalam Gambar 8), sehingga menghasilkan baja yang keras. Menurut Bhadeshia dan Honeycombe (2017)[7] dalam penelitiannya namun baja berbeda menyatakan bahwa nilai kekerasan sampel uji baja yang diperlakukan dengan *quenching* tinggi disebabkan ukuran butir austenit (*austenite grain*

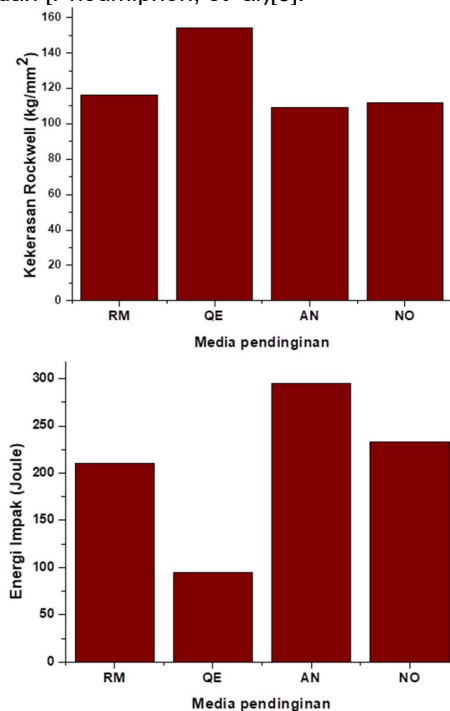
size) meningkat, karena luas batasan grain per satuan volume menurun. Daerah untuk nukleasi ferit dan perlit menurun jumlahnya, sehingga transformasi ini diperlambat, dan kemampuan pengerasan meningkat. Hal ini juga yang menjadi alasan mengapa kekerasan dari baja karbon rendah yang diperlakukan *quenching* lebih tinggi daripada sampel uji lain yang dipelajari.

Untuk sampel uji baja *normalizing*, perubahan fase pearlit kasar menjadi pearlit halus (lihat dalam Gambar 6) dalam baja akibat pendinginan lambat menyebabkan sampel uji baja memiliki kekerasan yang tinggi, namun kekerasan yang dimilikinya masih rendah dibandingkan dengan baja *quenching*.

Untuk proses pendinginan dalam oven (*Annealing*) telah menyebabkan deformasi struktur dalam baja menjadi struktur pearlite kasar (lihat dalam Gambar 7) sehingga kekerasan baja rendah.

3.2 Analisa Kekuatan Impact Baja

Gambar 6 menunjukkan bahwa kekuatan impact charphy dari sampel uji baja *annealing* lebih tinggi daripada sampel uji lainnya yang dipelajari yaitu sebesar 295 Joule. Kemudian diikuti oleh raw material, baja *normalizing* dan *quenching* masing sebesar 210 Joule, 233 Joule dan 95 Joule berturut-turut. Kekuatan impact yang tinggi dari sampel baja AN ini dikarenakan *Intercritical* sampel uji AN pada suhu 900 °C menunjukkan fase ganda dari ferit-martensit sehingga kekuatannya menjadi tinggi, tetapi kekerasannya rendah [Phoumiphon, et al][6].

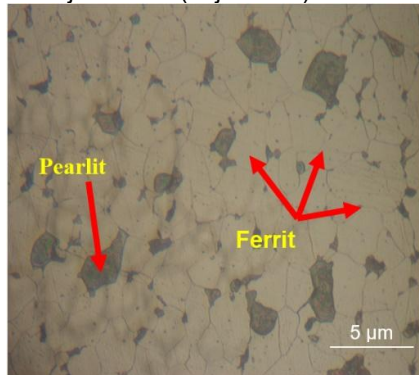


Gambar 4. Kekerasan Rockwel dan energi impact rata-rata dari baja ST 37 dengan media pendinginan berbeda

Untuk baja *normalizing* dan *quenching* kekuatan impaknya rendah disebabkan

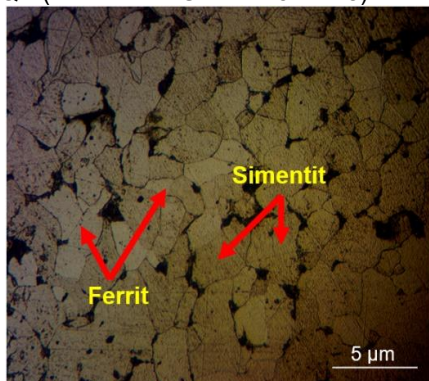
3.3 Analisa struktur mikro

Hasil pengamatan mikro melalui mikroskop menunjukkan bahwa sampel uji RM memiliki sejumlah besar struktur ferrit (berwarna putih) dan sedikit pearlit (warna kehitaman) seperti diperlihatkan dalam Gambar 5. Adanya struktur ferrit tersebut dalam baja yang menyebabkan sifat mekanik baja rendah (baja lunak).

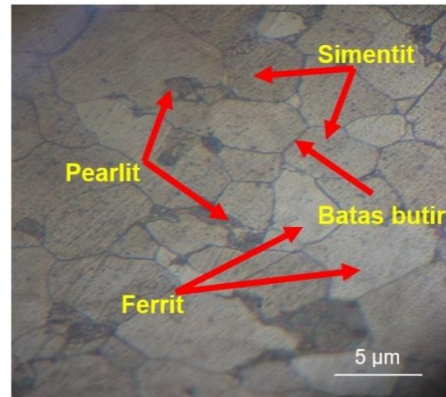


Gambar 5. Foto mikro dari sampel baja (RM)

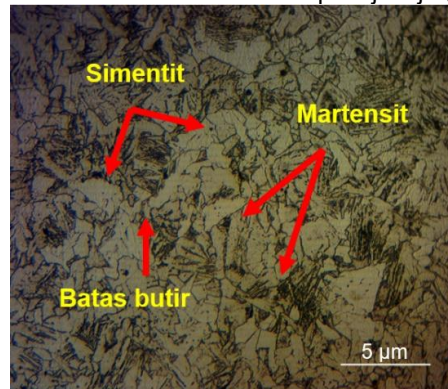
Setelah diperlakukan panas pada temperatur 900 °C selama 30 menit dan didinginkan media pendinginan yang berbeda. Perbedaan media pendinginan telah memberikan perubahan mikrostruktur dari baja masing-masing berbeda. Untuk sampel uji QE, struktur mikronya menunjukkan adanya sejumlah struktur martensit dan sementit yang lebih dominan dan sejumlah kecil pearlit dengan batas butir terlihat lebih besar seperti diperlihatkan dalam Gambar 8. Pendinginan dengan air menyebabkan perubahan struktur pearlit dari sampel uji lambat yang menyebabkan kekerasan baja tinggi, namun kekuatan rendah. Sebaliknya, ketika pendinginan dilakukan di dalam oven (*annealing*) dan dengan udara udara bebas (*normalizing*); struktur ferrit, pearlit dan sementit dari sampel AN dan NO terlihat ukurannya lebih besar (lihat dalam Gambar 6 dan 7) dengan batas butir halus daripada *raw material* (RM) baja dan sampel uji baja QE (lihat dalam Gambar 5 dan 8).



Gambar 6. Foto mikro dari sampel uji baja (NO)



Gambar 7. Foto mikro dari sampel uji baja (AN)



Gambar 8. Foto mikro dari sampel uji baja (QE)

4. KESIMPULAN

Investigasi terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dari sampel uji baja ST 37 dilakukan secara eksperimen. Perlakuan panas (*heat treatment*) dari sampel baja pada temperatur 900 °C selama 30 menit dan pendinginan dalam media berbeda memberikan efek perubahan struktur mikro dari baja. Kekerasan baja menggunakan media air lebih tinggi dibandingkan dengan media lain yang dipelajari; dikarenakan deformasi struktur ferrit menjadi pearlit. *Inter-critical* sampel uji AN pada suhu 900 °C menunjukkan ferrit-martensit fase ganda dan sifat mekanik yang sangat baik bila dibandingkan dengan sampel uji *normalizing* (NO), *quenching* (QE) dan tanpa perlakuan (RM).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Canale LCF, Vatavuk J, Totten GE. 2014. Introduction to Steel Heat Treatment. Elsevier Ltd.
- [2]. Meng Q, Li J, Zheng H. 2014. High-efficiency fast-heating annealing of a cold-rolled dual-phase steel. *Materials & Design*. 58:194–197.
- [3]. Naeem M, Shafiq M, Zaka ul Islam MA, Ashiq A, Díaz-Guillén JC, Shahzad M, Zakaullah M. 2016. Enhanced surface properties of plain carbon steel using plasma nitriding with

- austenitic steel cathodic cage, *Materials and Design* 108: 745–753.
- [4]. Sergey V, Panin PO, Maruschak IV, Vlasov B.B, Ovechkin. 2016. Impact toughness of 12Cr1MoV steel. Part 1 – Influence of temperature on energy and deformation parameters of fracture, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 83: 105–113.
- [5]. Souki I, Delagnes D, Lours P. 2016. Influence of heat treatment on the fracture toughness and crack propagation in 5% Cr martensitic steel. *Procedia Engineering* 10 (2011) 631–637.
- [6]. Phoumiphon N, Othman R, Ismail AB. 2016. Improvement in Mechanical Properties Plain Low Carbon Steel Via Cold Rolling and Intercritical Annealing, *Procedia Chemistry* 19: 822 – 827.
- [7]. Bhadeshia H, Honeycombe R. 2017, *Steels: Microstructure and Properties*. Elsevier Ltd. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100270-4.00008-1>.