

Penguatan Baja HSLA-Nb Pada Temperatur 900° C Setelah Mengalami Deformasi Awal Pada Proses Penekanan Bidang Datar

E.S.Siradj

Jurusan Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424, Tel. (021) 7863510

Abstrak

Kinetika pengendapan paduan mikro Nb(CN) dalam baja Nb-HSLA sangat dipengaruhi kondisi deformasi awal (*roughing deformation*) baik regangan, laju regangan dan temperatur deformasi. Dengan menggunakan HSLA (*High Strength Low Alloy*) yang mengandung 0,031%Nb dan menggunakan penekanan panas dengan satu kali deformasi awal (*single roughing*), hasil penelitian memperlihatkan adanya peningkatan penguatan pada kurva tegangan-regangan hasil deformasi akhir (*finishing deformation*) pada tegangan deformasi 0,5 dan temperatur 900 °C. Tegangan deformasi meningkat sebesar 85 MPa setelah sebelumnya diberikan regangan deformasi awal 0,5 pada temperatur 1045 °C. Untuk mengetahui peranan dari penguatan awal pengendapan (*pre-precipitation*) atau *cluster hardening*, tegangan deformasi pada regangan 5%, $\Delta\sigma_{0,05}$, di evaluasi dan hasilnya mendekati teori dispersi partikel koheren dari Mott & Nabarro.

Abstract

Precipitation kinetics of micro alloy Nb(CN) in Nb-HSLA steel are significant influenced by roughing deformation parameters such as strain, strain rate and temperature deformation. High Strength Low Alloy steel containing 0.031% Nb is used in this work and single roughing deformation in hot plane strain condition is performed. The results obtained in this way showed that the strengthening in stress-strain curve during finishing deformation of strain 0.5 at 900°C is increased. Increasing strengthening of 85 MPa was observed after single roughing strain of 0,5 at 1045 °C. Strengthening at stress of 5% strain is recorded to observe the role of pre precipitation hardening or cluster hardening. The observation shows that the increasing of $\Delta\sigma_{0,05}$ is close agreement with dispersion coherent particle dispersion theory by Mott & Nabarro.

1. Pendahuluan

Keunggulan baja HSLA dibandingkan dengan baja karbon biasa adalah dalam hal baja tersebut mempunyai nilai kekuatan yang tinggi, mampu las, mampu bentuk dan mempunyai nilai *toughness* yang tinggi. Dengan sifat mekanis tersebut, membuat baja ini banyak dipergunakan di industri manufaktur dan merupakan juga jenis baja yang terus dikembangkan terutama untuk baja struktur.

Dengan kandungan paduan mikro dari unsur Nb, V dan Ti, dalam baja tersebut akan membentuk partikel karbonitrida seperti Nb(CN), V(CN) dan Ti(CN) yang memegang peranan penting dalam menghasilkan sifat mekanis yang

diinginkan seperti tersebut diatas. Mekanisme penguatan tersebut disebabkan adanya proses "*precipitation hardening*" dan "*pinning*" dari pertumbuhan butir austenite sebelum transformasi ke fasa ferit.

Peningkatan kekuatan baja HSLA terjadi selama proses pembentukan berlangsung. Dalam proses canai panas, perubahan tersebut terjadi akibat akumulasi temperatur, regangan, percepatan regang dan pendinginan. Kontrol struktur mikro yang meliputi struktur mikro prior butir austenit, partikel endapan and butir ferrite, lebih dikenal dengan proses "*Thermo-mechanical Control Process*" (TMCP).

Mekanisme peningkatan penguatan baja HSLA, yang diakibatkan secara tidak langsung dari proses pencairan awal

(*roughing mill*) merupakan objek yang menarik bagi para peneliti untuk mengetahui lebih detail dari peningkatan penguatan baja tersebut. Dimulai dari Valdes & Sellars [1], telah menggambarkan kemungkinan peranan pengendapan awal atau "pre precipitation" yang dikenal dengan "clustering" memegang peranan penting dalam peningkatan kekuatan baja HSLA.

Peningkatan kekuatan selama proses deformasi awal, kelihatannya sangat tergantung kepada temperatur deformasi, regangan deformasi dan laju regangan. Dutta & Sellars [2] pertama telah mengamati peningkatan kekuatan baja HSLA dengan cara "double rolling" pada kondisi *isothermal* pada temperatur 900 °C. Pengamatan tersebut lebih ditekankan kepada peranan partikel karbonytrida terhadap peningkatan penguatan.

Sebelumnya telah dilakukan pengamatan dalam menyimpulkan mekanisme penguatan yang selama deformasi awal. Seperti telah disampaikan sebelumnya oleh Siradj [3] bahwa penguatan yang terjadi selama deformasi akhir (*finishing*), tidak dipengaruhi oleh besar butir austenit dan kelihatannya penguatan lebih disebabkan adanya penguatan akibat adanya awal pengendapan (*pre precipitate hardening*) atau ada yang menyebut sebagai "cluster hardening".

Beberapa peneliti sebelumnya Lie and Jonas [4] telah mengemukakan suatu teori mekanisme penguatan selama deformasi awal berlangsung. Selama deformasi pada temperatur austenit, meningkat dengan terbentuknya cluster atom Nb yang diakibatkan ke tidak serasian antara susunan atom Nb dengan atom matrik. Kerapatan cluster sangat dipengaruhi oleh kerapatan sisipan (*dislocation*) yang terbentuk selama deformasi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengamati peranan deformasi awal (*roughing deformation*) terhadap peningkatan kekuatan baja selama deformasi akhir pada temperatur 900°C dengan melihat peningkatan penguatan pada regangan 5%, $\Delta\sigma_{0.05}$. menggunakan metoda tekan panas pada kondisi tegangan bidang.

2. Bahan Dan Metoda Penelitian

2.1. Bahan

Baja HSLA dengan yang mengandung kandungan 0,031%Nb yang didapat dalam bentuk baja structural (*hot rolled*) dipergunakan Adapun komposisi baja tersebut seperti terlihat pada Table 1 dibawah ini.

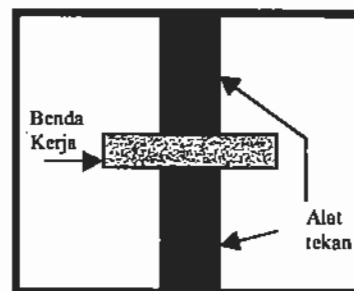
Tabel 1 Komposisi Kimia Baja HSLA dalam % berat

C	Si	Mn	S	Nb	N
0,1	0,33	1,35	0,019	0,031	0.0042

Benda kerja dibuat dengan proses pembubutan dalam ukuran 60 x 30 x 10 mm, dan diberi lobang disalah satu sisi dengan ukuran 1,6 mm diameter untuk meletakkan kawat thermocouple. Permukaan benda uji diberikan lapisan *chrome* dengan ketebalan 32 μm , dengan tujuan untuk mengurangi terbentuknya oksida selama proses pemanasan.

2.2. Metoda Penelitian

Servotest Universal Testing Machine, dipergunakan untuk peralatan penekanan panas benda kerja pada temperatur tinggi. Pada Gambar 1 dibawah ini, memperlihatkan ilustrasi penekanan benda kerja yang berada di dalam dapur.



Dapur Pemanas

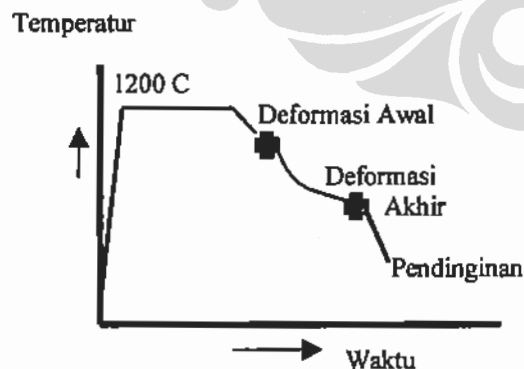
Gambar 1 Ilustrasi penekanan benda kerja di dalam dapur pemanas.

Sebelum proses penekanan dilakukan, benda uji dipanaskan terlebih dahulu (*reheating*) untuk melarutkan endapan Nb(CN) larut didalam matrik austenit.

Tingginya temperatur pemanasan yang diberikan dihitung dengan menggunakan model *solubility product* yang telah umum dipergunakan oleh para peneliti, untuk yang mengandung satu paduan mikro (*single alloying*) Nb, yaitu model Irvine dkk[5], $\text{Log}[\text{Nb}][\text{C}+12/14\text{N}] = 2,26-6770/T$, dimana [Nb] adalah kandungan Nb (%berat), [C+12/14N] adalah kandungan Carbon dan Nitrogen dan T adalah temperatur kelautan (K).

Dengan menggunakan model Irvine dkk tersebut, temperatur pemanasan didapat pada 1150°C. Secara praktis, pemanasan dilakukan lebih besar 50 °C diatas temperatur tersebut dengan waktu pemanasan selama 1 jam agar pemanasan tersebut merata.

Deformasi awal dilakukan pada temperatur >1000 dengan regangan deformasi sekitar 0,1, 0,3, 0,5 dan 0,6 dengan laju regangan sebesar 1 s⁻¹. Setelah deformasi awal selesai, benda uji dibiarkan di dalam dapur hingga temperatur mencapai 900°C dan penekan akhir (*finishing deformation*) dilakukan dengan regangan deformasi sebesar 0,5 dan laju regangan 1 s⁻¹.



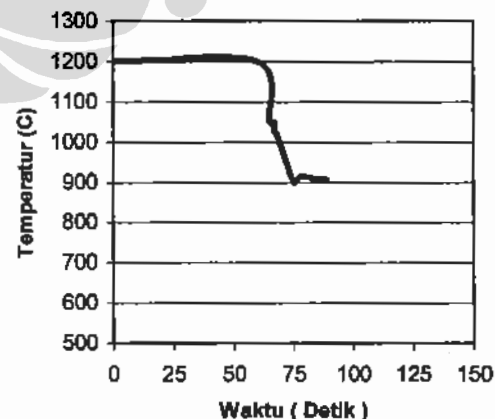
Gambar 2 Siklus panas pada benda kerja selama percobaan dilakukan.

Siklus panas benda uji selama proses pemanasan dan penekanan dapat dilihat pada Gambar 2. Pada gambar tersebut terlihat adanya dua deformasi yang diberikan, yaitu pada deformasi pada temperatur diatas 1000 C, (*Roughing deformation*) dan deformasi pada temperatur 900° C (*Finishing deformation*). Laju regangan yang diberikan di kedua proses deformasi tersebut diberikan sama, yaitu 1 s⁻¹.

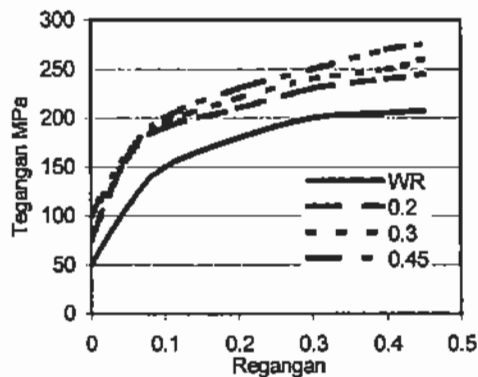
Selama proses pemanasan dan deformasi, data (*raw data*) dari temperatur, regangan, laju regangan dan waktu direkam dengan menggunakan *Data Acquisition* yaitu *Work Bench PC*, dimana temperatur benda uji yang direkam.

3. Hasil Penelitian

Profil temperatur selama proses pemanasan dan deformasi berlangsung dapat dilihat pada Gambar 3. Pengaruh deformasi awal yaitu temperatur dan regangan yang digambarkan dalam kurva tegangan-regangan hasil deformasi pada temperatur 900 °C pada regangan 0,5 dan laju regang 1 s⁻¹ dapat dilihat pada Gambar 4 tegangan-regangan di halaman berikutnya.



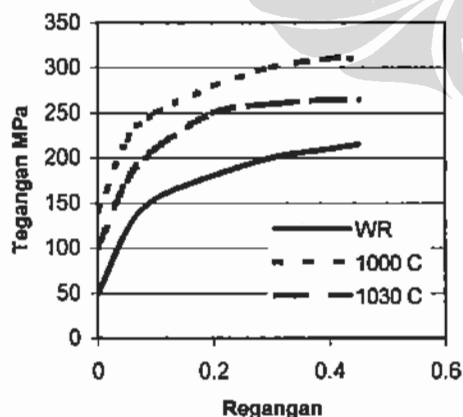
Gambar 3 Temperatur profil selama deformasi.



Gambar 4 Kurva tegangan-regangan deformasi panas pada temperatur 900 °C setelah deformasi awal pada temperatur 1050 °C dengan regangan yang berbeda-beda.

Pada gambar di atas terlihat, dengan makin bertambah besar deformasi awal yang diberikan, dari 0,2 sampai 0,45, penguatan baja HSLA yang tergambar dalam kurva tegangan-regangan memperlihatkan terjadi-nya penguatan jika dibandingkan dengan keadaan tanpa diberikan deformasi awal terlebih dahulu, WR (*Without Roughing*).

Peningkatan kekuatan yang terlihat pada akhir curve tegangan-regangan selama deformasi akhir tersebut pada regangan 0,45, terlihat meningkat cukup signifikan sebesar 275 MPa jika sebelumnya diberikan deformasi awal pada temperatur 1050 °C, dibandingkan 200 MPa tanpa diberikan deformasi awal.



Gambar 5. Kurva tegangan-regangan pada temperatur 900 °C setelah dilakukan deformasi awal pada temperatur yang berbeda.

Temperatur pada deformasi awal juga kelihatannya sangat mempengaruhi kekuatan selama deformasi akhir. Gambar 5 memperlihatkan pengaruh temperatur deformasi awal terhadap kekuatan baja HSLA pada temperatur 900 °C.

Dengan regangan deformasi awal yang konstant yaitu 0,45, Gambar 5 tersebut memperlihatkan terjadinya penguatan dengan deformasi awal yang bertambah kecil. Penguatan meningkat hingga 100 MPa jika diberikan deformasi awal pada temperatur 1000 °C dibandingkan hanya 50 MPa pada temperatur 1030 °C. Kenaikan penguatan adalah penguatan jika kedua kurva tegangan regangan tersebut dibandingkan dengan kurva tanpa sebelumnya diberikan deformasi awal.

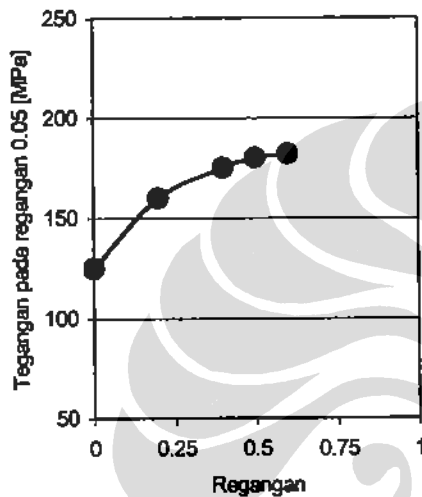
4. Pembahasan

Peningkatan kekuatan akibat diberikan deformasi awal pada temperatur yang berbeda jelas terlihat pada kurva tegangan-regangan pada Gambar 5 di atas. Sebelumnya Lie and Jonas [4] menjelaskan kemungkinan adanya mekanisme penguatan selama deformasi awal berlangsung, yaitu selama deformasi pada temperatur austenit, akan meningkatkan terbentuknya cluster atom Nb yang secara tidak langsung diakibatkan oleh ketidak serasian antara susunan atom Nb dengan atom matrik.

Untuk mengetahui peranan *pre-precipitation hardening* atau *cluser hardening*, penguatan pada strain 0,05, $\Delta\sigma_{0,05}$, di evaluasi. Peningkatan 0,05, $\Delta\sigma_{0,05}$, terlihat pada Gambar 6, yang digambarkan sebagai fungsi dari $1/T$, dimana T adalah temperatur deformasi awal.

Gambar 6 kemungkinan memperlihatkan adanya kerapatan cluster yang meningkat akibat dipengaruhi oleh kerapatan sisipan (*dislocation*) yang terbentuk selama deformasi. Disamping itu juga peningkatan kekuatan tersebut mungkin dapat dijelaskan juga akibat meningkatnya regangan deformasi yang secara tidak langsung tegangan tersebut beraksi pada "*dislocation*" yang menyebabkan terlarutnya cluster atom.

Studi awal telah dilakukan oleh Mott & Nabarro dengan menggunakan crystal yang mengandung cluster dari atom yang terlarut dan partikel endapan yang tidak koheren (*incoherent precipitates*). Hasilnya memperlihatkan bahwa penguatan cluster pada *Guiner-Preston Zones (GP Zone)* mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap penguatan dari kristal dibandingkan dengan larutan padat dan partikel.



Gambar 6. Penguatan regangan 0,05, pada temperatur tegangan regangan 900 °C.

Dengan mengasumsikan bahwa adanya antarmuka yang menyebabkan ketidaksesuaian (*misfit*) akan menimbulkan regangan geser elastis. Adapun derajat ketidaksesuaian (*degree of misfit*), ϵ , antara dispersi partikel dan fasa matriks dapat ditulis sebagai berikut,

$$\epsilon = 1 - [r_a / r_m] \quad (1)$$

dimana;

r_a = radius atom dari fasa dispersi [nm]
 r_m = radius atom dari fasa matriks [nm]

Peningkatan tegangan, σ_y , dari paduan yang mengandung fasa kedua yang koheren dapat ditulis,

$$\sigma_y = 2 \mu \epsilon f \quad (2)$$

dimana; μ = Modulus geser [Pa]
 f = Fraksi volume
 ϵ = Derajat ketidaksesuaian

Bila diambil $\mu = 4,5 \times 10^{10}$ Pa pada 900 °C, dan f adalah kesetimbangan volume fasa dimana untuk baja adalah 8×10^{-4} dan radius atom Fe dan Nb adalah 0,124 nm dan 0,163 nm, maka peningkatan penguatan yang disebabkan partikel koheren dengan menggunakan rumusan(2) diatas didapat sebesar 22 MPa.

Hasil ini terlihat cukup konsisten bila deformasi awal diberikan pada temperatur > 1030 °C. Walaupun demikian nilai yang dihasilkan relative lebih rendah dari kenyataan sebenarnya. Walaupun demikian, oleh Cahn [6] memberikan penjelasannya bahwa, seharusnya nilai penguatan (tegangan) hasil perhitungan dengan rumusan diatas harusnya lebih besar. Hal tersebut disebabkan rumusan tersebut diatas mengabaikan adanya tegangan yang diperlukan untuk menggerakkan dislokasi melewati partikel dispersi.

Dengan menggabungkan hasil teori penguatan dispersi partikel koheren Mott & Nabarro serta asumsi yang diberikan oleh Cahn maka kesimpulan awal dari mekanisme penguatan adalah akibat dari awal pengendapan (*pra precipitation*) atau penguatan cluster kemungkinan sebagai penyebab peningkatan penguatan selama deformasi awal yang diamati pada deformasi akhir..

Untuk meneliti lebih lanjut dari mekanisme penguatan akibat kemungkinan terbentuknya penguatan cluster, perlu dilakukan mengamati partikel cluster dengan menggunakan *Transmission Electron Microscope* yang mampu mengamati partikel endapan dengan ukuran diameter 0,5 nm.

5. Kesimpulan

1. Peningkatan kekuatan pada regangan 0,45, meningkat cukup signifikan sebesar 275 MPa pada temperatur deformasi 1050 °C dibandingkan 200 MPa tanpa diberikan deformasi awal.

2. Peningkatan $\Delta\sigma_{0,05}$, memperlihatkan adanya peningkatan penguatan dari 125 MPa tanpa sebelumnya diberikan deformasi menjadi 175 MPa bila diberikan deformasi sebelumnya pada regangan 0,6 temperatur 1050 °C.
3. Peningkatan kekuatan akibat deformasi awal pada temperatur diatas 1000 °C, terlihat sangat sesuai dengan teori dispersi pengendapan dari Mott & Nabarro, serta teori dari Cahn.
2. B.Dutta dan C.M.Sellars, Mat Sci and Technol, 1997, vol 3, p 197.
3. E.S.Siradj, PhD Thesis, Universitas Sheffield, U.K. 1997.
4. W.J.Liu dan J.J.Jonas, Met Trans A, 1989, vol 20A, pp 689-697.
5. K.J.Irvine, F.B.Pickering dan T.Gladmann; Jour. Iron Steel Inst, 1967, p 161.
6. R.W.Cahn, Recrystallisation, Grain Growth and Texture, New York , ed . H.Morgolin, ASM. Metals Park, OH, 1966, p 66.

Daftar Pustaka

1. E.Valdes dan C.M.Sellars, Mat Sci and Technol, 1991, vol 7, p 622..

