

PENGARUH KETEBALAN TERHADAP PROSES PENGGEROLAN PANAS BAJA HSLA API 5L-X65 PRODUKSI PT. KRAKATAU STEEL

Arianto Leman S.¹⁾ Mudjijana²⁾ A. Somantri³⁾

ABSTRACT

The influence of thickness strip on the hot-rolling process was investigated. The thickness of strip is one part of parameter on hot-rolling process since it gives different mechanical properties for different thicknesses. The toughness of thicker strip can be improved by lowering the temperature to the nonrecrystallization temperature. This should be in the range 950-900° C.

1. PENGANTAR

Pipa baja merupakan salah satu komponen industri yang penting saat ini. Kondisi kerja dan lingkungan yang dilayani oleh pipa-pipa baja ini berbeda-beda, sehingga ketebalannya bervariasi sesuai dengan kebutuhan.

Pipa-pipa baja untuk mengalirkan minyak dibuat dengan standar API (*American Petroleum Institute*). Sebagai bahan baku pembuat pipa-pipa minyak ini dapat dipakai plat Baja Paduan Rendah Berkekuatan Tinggi (*High Strength Low Alloy*) yang diperoleh melalui pengerolan panas dan memiliki ketebalan sesuai dengan tebalnya pipa. Plat-plat baja HSLA dengan standar spesifikasi sama, biasanya dibuat melalui proses pengerolan panas yang sama pula, walaupun ketebalannya berlainan. Tetapi plat yang lebih tebal menunjukkan hasil uji DWTT (*Drop Weight Tear Test*) yang buruk, sehingga diperoleh pipa berkualitas buruk meskipun sifat-sifat mekaniknya secara teknis sama dengan plat-plat yang lebih tipis. Penelitian dilakukan untuk membuktikan bahwa ketebalan plat merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap proses pengerolan panas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perlakuan termomekanis merupakan perlakuan panas terhadap baja yang mengkombinasikan perlakuan panas dengan deformasi mekanis (Leslie, 1983 dan Haruman, 1993). Secara umum, perlakuan ini bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat baja dengan penghalusan butir akibat deformasi mekanis dan perubahan struktur mikro akibat perlakuan panas. Pada pengerolan panas terkontrol (*controlled hot rolling*), yang merupakan satu bentuk perlakuan termomekanis, proses deformasi dilakukan pada suhu (1000-1250°C), agar rekristalisasi austenit terjadi selama *controlled rolling* berlangsung

¹⁾ Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Pendidikan Teknik dan Kejuruan IKIP, Yogyakarta.

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.

dan berekristalisasi menjadi *fine equiaxed structure*. Sifat-sifat mekanis yang di hasilkan setelah transformasi lebih isoformis.

Baja HSLA (*High Strength Low Alloy*) merupakan sekelompok baja tertentu dengan komposisi yang khusus dibuat untuk memberikan harga sifat mekanis yang lebih tinggi, dan dalam hal tertentu dapat memberikan ketahanan yang lebih besar terhadap korosi cuaca (atmosfir) dibandingkan dengan baja karbon konvensional (Leslie, 1983, Haruman, 1993, dan Djaprie, 1993). Baja HSLA bukanlah baja paduan yang umumnya dikenal, tetapi merupakan baja berkekuatan tinggi yang memiliki kekuatan luluh dan sifat mampu bentuk yang relatif lebih baik dari baja karbon lunak. Baja HSLA dapat dibuat melalui pengerolan terkontrol dengan sedikit unsur paduan V, Ti, Nb, Cr, dan Al sehingga memiliki kekuatan luluh 290-550 MPa dan kekuatan tarik maksimum 415-700 MPa. Baja HSLA pada umumnya memiliki struktur mikro, ferit poligon dan ferit halus disertai adanya presipitasi karbida atau nitrida.

Kekuatan baja dapat ditingkatkan dengan cara memperkecil struktur mikronya. Hal ini sesuai dengan hubungan Hall-Petch yang menyatakan keterkaitan antara kekuatan luluh dengan ukuran butir (Surdia dan Saito, 1985),

$$\sigma_y = \sigma_i + kd^{-1/2} \quad (1)$$

dengan :

σ_y = kekuatan luluh (Mpa).

σ_i = tegangan gesek (Mpa).

k = konstanta (Mpa . m^{-1/2})

d = diameter butir (m)

Persamaan (1) menunjukkan bahwa mengecilnya ukuran butir berarti bertambahnya luas permukaan batas butir. Batas butir merupakan penghalang terjadinya slip, maka dengan bertambahnya luas permukaan batas butir, penghalang gerakan slip juga bertambah.

Pada baja HSLA penghalusan butir dapat dicapai dengan penambahan unsur-unsur paduan Nb, V, Ti, atau Al (Leslie, 1983 dan Adnyana, 1992). Penghalusan butiran ferit dalam baja ferit-perlit diperoleh melalui pembatasan pertumbuhan dan/atau dengan menghambat rekristalisasi butiran austenit selama pengerolan panas sehingga transformasi austenit ke ferit terjadi pada daerah austenit tak terekristalisasi. Unsur Nb lebih sering digunakan karena tingkat kelarutan Nb (C,N) di dalam austenit yang rendah sehingga penghalusan butir dapat dicapai dengan kadar Nb yang sedikit. Unsur-unsur Nb, C, dan N berada di dalam larutan padat austenit saat pengerolan panas dimulai, dan bersamaan dengan turunnya suhu baja selama pengerolan, terjadi presipitasi. Partikel presipitat dapat menghambat terjadinya pertumbuhan austenit, dan pada suhu yang lebih rendah lagi kelompok presipitat mencegah rekristalisasi austenit yang telah terdeformasi.

Penghalusan butir dapat juga dilakukan dengan perlakuan pelarutan suatu paduan, yaitu dengan menambahkan atom terlarut hingga melampaui kelarutannya untuk membuat larutan padat pada suhu tinggi. Fasa kedua atau fasa presipitat yang membentuk larutan padat pada suhu tinggi akan berpresipitasi pada pencelupan atau suhu rendah. Jika

presipitat terdispersi dalam larutan padat, maka tegangan mulur meningkat sehingga penguatan ini juga disebut penguatan dispersi (Surdia dan Saito, 1985 dan Dieter, 1986).

Baja HSLA yang dirol panas mempunyai struktur butiran yang kecil-kecil dan mungkin mempunyai dislokasi substruktur akibat pengerolan ataupun penggulangan plat. Penguatan terjadi karena terdapat hubungan antara dislokasi, orientasi butir, ukuran butir, kerapatan dislokasi, dan kekuatan (Dieter, 1986). Dislokasi merupakan cacat pada kristal logam. Cacat ini dapat bermacam-macam bentuknya, dan mengakibatkan susunan kristal logam yang tidak sempurna sehingga orientasi dari butiran kristal-kristal tersebut berubah-ubah arahnya. Perubahan orientasi ini mempengaruhi energi ikatan antar butir pada batas butir. Perbedaan orientasi yang besar menyebabkan energi pada batas butir juga besar, sehingga untuk memutuskannya diperlukan energi yang besar pula.

Baja HSLA sebagai bahan baku pipa telah diproduksi dalam jumlah besar dengan pengerolan panas terkontrol. Oleh karena tegangan pada pipa sangat sederhana dalam bentuk lingkaran, pengerolan panas terkontrol sangat efektif untuk mendapatkan kekuatan tinggi dan ketangguhan pada suhu rendah dalam arah memanjang dan melintang (Tamura dkk, -). Baja bahan baku pipa ini harus memenuhi dua persyaratan, yaitu (a) Tahan terhadap penyebab retak getas, didasarkan pada hasil uji DWTT dan (b) Tahan terhadap retakan melintang yang mudah robek (*unstable shear fracture*) dan hidrogen penyebab retak dalam bentuk gas H₂S. Karakteristik DWTT berhubungan dengan FATT (*Fracture Appearance Transition Temperature*) dari uji *impact* Charpy, sedang *unstable shear fracture* berhubungan dengan energi *impact* Charpy.

Baja HSLA yang banyak digunakan untuk pipa berdiameter besar umumnya mengandung 0,05-0,15 % C, 1-2 % Mn, 0,02-0,1 % Mb, 0,05-0,15 % V, dan Mo, Ni, Cu, serta Cr dalam jumlah 0,1-0,3 %. Selain itu mungkin mengandung pula 0,2-0,3 % Si, 0,015-0,06 % N. Kadar sulfur dalam baja untuk pipa berdiameter besar ini dibuat serendah mungkin (Surdia dan Saito, 1985 dan Adnyana, 1992), sebab akan mengurangi kemungkinan terbentuknya mangan sulfida yang dapat menyebabkan tekanan tinggi, dan akhirnya berlaku sebagai retak awal (Tamura dkk, -).

Proses termomekanis untuk baja HSLA terdiri dari empat tahap (Tanaka, 1985), yaitu : (a) Deformasi pada suhu tinggi di daerah austenit, untuk mendapatkan perbaikan butiran melalui deformasi berulang dan rekristalisasi. (b) Deformasi pada daerah austenit tak terekristalisasi untuk menambah tempat-tempat pengintian ferit pada austenit terdeformasi dan pita-pita deformasi. (c) Deformasi pada daerah dua fasa austenit-ferit untuk menaikkan kekuatan ferit. (d) Pendinginan cepat selama transformasi austenit ke ferit untuk memperoleh struktur ferit halus bercampur dengan bainit halus atau kelompok-kelompok martensit. Kombinasi yang optimum dari empat tahap di atas serta pengaturan yang ketat terhadap komposisi kimia, suhu *reheating*, proses pengerolan panas, perilaku transformasi dan laju pendinginan diperlukan untuk mendapatkan hasil maksimal.

3. METODE PENELITIAN

Bahan plat baja HSLA bahan pembuat pipa yang diteliti di buat dari slab baja dengan

Steel. Mula-mula slab dipanaskan dalam *reheating furnace* sampai suhu 1220-1250^o C, kemudian slab direduksi menjadi strip kasar (*vorband*) pada *roughing stand* dan keluar dengan suhu 1000-1080^o C. Setelah itu *vorband* direduksi lagi pada *finishing stand* sampai diperoleh tebal strip yang diinginkan. Strip keluar dari *finishing stand* dengan suhu 850-900^o C dan langsung didinginkan dengan penyemprotan air hingga suhu strip menjadi 550-680^o C. Data-data suhu dan komposisi kimia diambil dari catatan *recorder* yang terpasang di ruang operator.

Strip yang diteliti terdiri dari tiga kelompok ketebalan. Kelompok I dengan tebal 11,95 mm, terdiri dari tiga sampel yang berasal dari strip nomor 922169, 922176, dan 922177. Kelompok II dengan tebal 12,75 mm, terdiri dari tiga sampel yang berasal dari strip nomor 914181, 914186, dan 914190. Sedangkan kelompok III dengan tebal 14,32 mm, terdiri dari empat sampel yang berasal dari strip nomor 881132, 916461, dan 916464. Komposisi kimia dari masing-masing kelompok disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia plat baja HSLA Hasil pengerolan panas untuk pipa (% berat).

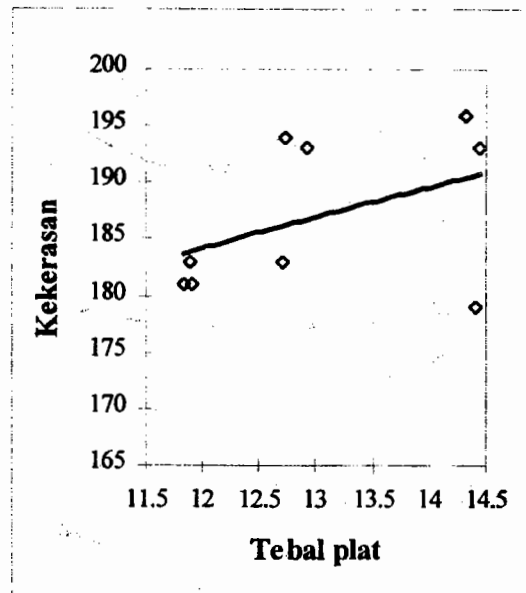
Unsur (%)	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	V
Kelompok I	0,079	0,263	1,089	0,007	0,004	0,042	0,009	0,046	0,035
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kelompok II	0,087	0,316	1,203	0,009	0,007	0,057	0,013	0,057	0,047
	0,075	0,251	1,117	0,007	0,006	0,039	0,010	0,048	0,035
Kelompok III	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,094	0,309	1,345	0,009	0,012	0,059	0,023	0,054	0,053
Kelompok III	0,064	0,251	1,129	0,006	0,006	0,037	0,009	0,042	0,037
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,094	0,309	1,457	0,012	0,008	0,059	0,049	0,056	0,053

Unsur (%)	Ni	Cr	N	Fe
Kelompok I	0,017-0,022	0,013-0,017	0,043-0,055	Sisanya
Kelompok II	0,017-0,021	0,019-0,023	0,028-0,064	Sisanya
Kelompok III	0,013-0,034	0,016-0,029	0,026-0,064	Sisanya

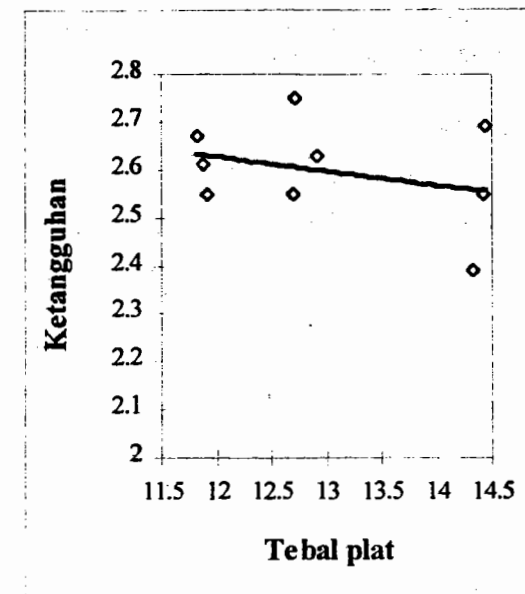
Benda uji di ambil dari ekor plat hasil rol panas dengan asumsi bahwa bagian ekor merupakan bagian terburuk dari seluruh plat. Kemudian dibuat sampel benda uji tarik dan *impact* untuk mengetahui tegangan luluh, tegangan maksimum, dan ketangguhannya. Benda uji tarik, seperti diperlihatkan pada gambar 1, di buat sesuai standar API dengan panjang ukur 50,8 mm dan lebar 38 mm. Benda uji *impact* Charpy diperlihatkan pada gambar 2, sedangkan gambar 3 memperlihatkan benda uji kekerasan beserta titik-titik yang diuji.

Bila gambar 4 dicermati, tampak bahwa plat 11,95 mm dan 12,75 mm keluar dari *roughing stand* berturut-turut pada suhu 1050° C dan 1000° C. Sedang plat 14,32 mm keluar dari *roughing stand* pada suhu yang lebih tinggi yaitu 1075° C. Gambar 5 menunjukkan kecenderungan harga kekerasan naik jika plat semakin tebal. Sedang pada gambar 6 menunjukkan kecenderungan ketangguhan turun jika plat semakin tebal.

Kubota *et al.* melaporkan bahwa peningkatan ketangguhan dan perbaikan butiran α , tampak jelas dengan penambahan reduksi total pada suhu dibawah 950-900° C, dimana rekristalisasi γ tidak terjadi (Tamura dkk, -). Penelitian lain terhadap produksi komersial plat baja Nb-V setebal 11,7 mm dan 14,3 mm untuk pipa, menunjukkan bahwa reduksi pada *roughing stand* dilakukan pada suhu rekristalisasi dan reduksi pada *finishing stand* dilakukan pada suhu nonrekristalisasi (Tamura dkk, -). Hal ini berdasar pada kenyataan bahwa, rekristalisasi dapat terjadi pada suhu reduksi yang lebih rendah jika butiran γ sebelum reduksi pada *finishing stand* telah halus akibat reduksi pada *roughing stand*. Sehingga jelaslah bahwa reduksi pada suhu nonrekristalisasi efektif dalam memperbaiki ketangguhan dan ini dapat dicapai dengan menahan plat pada daerah antara suhu rekristalisasi dan suhu nonrekristalisasi, yaitu antara 1000-950° C.



Gambar 5. Pengaruh tebal plat terhadap kekerasan.



Gambar 6. Pengaruh tebal plat terhadap ketangguhan.

Jadi dapat dijelaskan plat 14,32 mm memiliki ketangguhan yang lebih rendah karena suhu ketika keluar dari *roughing stand* cukup tinggi sehingga masuk ke *finishing stand* dengan suhu agak tinggi pula. Maka plat 14,32 mm sebaiknya keluar dari *roughing stand* pada suhu 1000° C atau lebih rendah atau dengan menahannya terlebih dahulu pada daerah antara suhu rekristalisasi dan nonrekristalisasi sebelum direduksi pada *finishing stand*. Selanjutnya reduksi pada *finishing stand* dapat dilakukan hingga mencapai suhu serendah 800° C (Mekawy dkk, 1990). Pada plat 12,75 mm hal ini dilakukan sehingga ketangguhan yang diperoleh sama dengan ketangguhan plat 11,95 mm.

Kekerasan plat 12,75 mm yang tinggi seperti diperlihatkan pada gambar 5 disebabkan oleh suhu *coiling* yang agak rendah yaitu 625° C. Bagaimanapun kenaikan suhu *coiling* menyebabkan turunnya kekerasan karena terjadi pengasaran butiran struktur mikro (Held dkk, 1970).

5. KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tebal akhir plat pada proses pengerolan panas mempengaruhi sifat-sifat mekanis dan merupakan salah satu parameter yang berpengaruh dalam proses pengerolan panas sehingga harus ditentukan suhu yang tepat sesuai dengan tebal akhir dalam pengerolan panas tersebut.

2. Plat-plat yang lebih tebal sebaiknya direduksi pada daerah suhu nonrekristalisasi untuk memperoleh ketangguhan yang tinggi.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
2. Kepala Laboratorium Bahan Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta.
3. Kepala Dinas Pengembangan Produk PT. Krakatau Steel, Cilegon.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, D.N., *Dasar-dasar Baja Paduan Rendah Berkekuatan Tinggi*, Training Metalurgi Fisik, Pusdiklat PT. Krakatau Steel, Cilegon, 15, 16, 22, 23 Oktober 1992.
- Dieter, George E., *Mechanical Metallurgy*, 3rd edition, McGraw-Hill book company, 1986.
- Djaprie, Sriati., *High Strength Low Alloy*, Kursus Lanjut PT. Krakatau Steel, Cilegon, 3-5 Mei 1993.
- Haruman, Esa., *Thermomechanical Treatment*, Kursus Lanjut PT. Krakatau Steel, Cilegon, 3-5 Mei 1986.
- Held, J.F., Kruger, H.J., Bucher, J.H., *Effect of Hot-Rolling Practice on the Structure and Properties of Low-Carbon Steel*, Mechanical Working and Steel Processing VIII, AIME, 1970, p. 340-372.
- Leslie, W.C., *The Physical Metallurgy of Steel*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., 2nd printing, 1983.
- Mekkiy, M.F., El-Fawakhry, K.A., Mishreky, M.L., Eissa, M.M., *Effect of Finish-Rolling Temperature on Microstructure and Strength of V- and Ti- Microalloyed Steels*, Scandinavian Journal of Metallurgy, vol. 19, 1990, p. 246-256.
- Surdia, Tata., dan Saito, Shinroku., *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1985.
- Tamura, Imao., Sekine, Hiroshi., Tanaka, Tomo., Ouchi, Chiaki., *Thermomechanical Treatment Processing of HSLA Steel*, Butterworth Press Inc, -.
- Tanaka, Tomo., *Four Stages of The Thermomechanical Processing in HSLA Steel*, edited by D.P. Dune and T. Chandra, High Strength Low Alloy Steel, University of Wollongong, 1985.