

PENGAJIAN KARAKTERISTIK BAHAN BAKU (RAW MATERIAL) LEMBARAN BAJA (STEEL PLATE) UNTUK TABUNG GAS 3KG PRODUK LOKAL & IMPOR SECARA METALURGI

Winarto & Johny Wahyuadi S

Abstract

Nowadays, use of steel sheet material for gas tube 3kg in gas tube manufacture industry is increase in order to support governmental program about conversion of energy from kerosene to gas (LPG). Characteristic which qualify for material of gas tube have been arranged in SNI 1452:2007 or JIS G3116 SG295 (standard of Japan). In JIS standard, it is arranged quality of raw material to be used in gas tube application steel like chemical composition and tensile test. In other side production of local gas tube manufacturer is limited, while demand of gas tube is increased, that's why government gives opportunity to import tube of LPG 3kg. Meanwhile control of raw material quality (steel plate) paid less attention so there are much gas tube damage like leaking and bursting in using. Therefore the study of raw material characteristic done to produce gas tube 3kg for both local and import product in metallurgy. The tests taken are tensile test, elongation, micro structure. This study aim to compare and analyze the product in the metallurgy & valid standard in Indonesia, that is harmonies to Standard of Indonesia National (SNI) 1452:2007 and Japan Industrial Standard (JIS) G3116 SG295.

Keywords: steel sheet, gas tube 3kg, Tabung Gas LPG 3 Kg, Mikro structure

1. PENDAHULUAN

Lembaran baja (*steel plate*) telah banyak diaplikasikan untuk tabung gas dimana produsen bahan baku terbesar dalam negeri seperti PT Krakatau Steel telah lama membuat bahan baku ini dengan spesifikasi JIS SG255 yang dimulai sejak tahun 1992. Dalam rangka mendukung program pemerintah tentang konversi energi dari minyak tanah ke gas LPG, maka PT Krakatau Steel menyediakan bahan baku baja untuk aplikasi tabung gas 3 kg dengan menggunakan spesifikasi JIS SG295. Seiring dengan kenaikan harga minyak dunia, maka program konversi ini dipercepat pelaksanaannya. Hal ini berdampak pada kebutuhan akan pengadaan tabung LPG meningkat dengan drastis yang tidak diimbangi dengan pengadaan (*supply*) tabung LPG yang memadai oleh produsen tabung gas dalam negeri. Keterbatasan pemenuhan tabung gas oleh produsen lokal dalam waktu singkat untuk memenuhi kuota kebutuhan tabung gas 3kg dari pemerintah, maka pemerintah membuka peluang impor tabung LPG 3kg dari luar negeri. Sementara itu kontrol kualitas bahan baku (*steel plate*) secara umum kurang diperhatikan sehingga banyak kejadian dimana produk tabung mengalami kerusakan (*failure*) seperti bocor (*leak*) dan meledak (*burst*) di dalam penggunaannya dilapangan.

Untuk itu dilakukan pengkajian karakteristik bahan baku (*raw material*) untuk produksi tabung gas 3 kg yang berasal dari produk lokal dan produk impor secara metalurgi. Adapun pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik

(*tensile testing*), keuletan (*elongation*), struktur mikro (*micro-structure*) serta pengamatan inklusi dari kedua produk tersebut.

Adapun spesifikasi yang dipersyaratkan dalam menggunakan bahan baku (*raw material*) untuk tabung gas 3 kg yang berlaku di Indonesia harus memenuhi JIS G3116 SG295 dan persyaratan tabung gas SNI 1452:2007. Untuk itu perlu dilakukan pengujian (*test*) yang harus memenuhi kedua persyaratan spesifikasi tersebut.

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan terhadap kedua jenis bahan baku (*raw materials*) untuk tabung gas baik produk lokal maupun produk impor. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kualitas bahan baku (*raw material*) baja kedua produk tersebut yang meliputi pengamatan metalografi, kekuatan tarik pada setiap arah giling (*rolling direction*) dan kebersihan baja (*clean steel*). Dari hasil penelitian diharapkan dapat diperoleh hasil penilaian terhadap kualitas bahan baku (*raw material*) hasil dari proses produksi lembaran baja produk lokal dan impor yang dipakai dalam aplikasi tabung gas 3 kg.

2. METODE PENELITIAN

Untuk mengevaluasi sifat mekanis (kekuatan tarik & kekerasan) serta struktur mikro bahan baku produk lokal dan impor, maka dilakukan suatu pengamatan metalografi yaitu pengamatan struktur mikro (dengan mikroskop optik & SEM) dan pengujian mekanis (uji kekerasan &

kekuatan tarik) pada produk baja lembaran produk lokal dan impor. Adapun lingkup penelitian adalah sbb:

- a. Persiapan bahan (lembaran baja produk lokal & impor); adapun *batch number* yang diteliti untuk produk lokal adalah: 669272, sedangkan untuk produk impor adalah 3030080
- b. Pengamatan metalografi (mikro-struktur) lembaran baja produk lokal & impor
- c. Pengukuran inklusi lembaran baja produk lokal & impor (dengan mikroskop Optik & SEM)
- d. Pengujian kekerasan & kekuatan tarik lembaran baja produk lokal & impor.
- e. Analisa seluruh data pengujian yang dikaitkan dengan literatur dan selanjutnya dibuatkan laporan termasuk kesimpulan

Persiapan bahan (lembaran baja produk lokal & impor) dibuat dengan tahap-tahap sebagai berikut:

1. Material yang akan diuji diamati secara visual terhadap arah giling (*rolling direction*).
2. Arah giling (*rolling direction*) selanjutnya ditandai dan dilakukan pemotongan sesuai dengan arah tersebut untuk digunakan dalam pengujian komposisi kimia, pengamatan metalografi & pengujian kekuatan tarik dan kekerasan, serta pengukuran inklusi dengan OM & SEM.
3. Sampel yang telah dipotong selanjutnya dipreparasi untuk dibuatkan sampel standar dan dilakukan pengujian sesuai standar JIS yang meliputi:
 - a. JIS G 1252 - *Emission-Spectroscopic Analysis for Carbon Steel and Low Alloy Steel*
 - b. JIS Z 2201 : *Test pieces for tensile test for metallic materials*
 - c. JIS Z 2241 - *Method of Tension Test for Metallic Materials*
 - d. JIS Z 2244 - *Method of Vickers Hardness Test*
 - e. JIS G 0551 - *Method of Austenite Grain Size Test for Steel*
 - f. JIS G 0555 - *Microscopic Testing Method for the Non-metallic Inclusions in Steel*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia bahan baku lembaran baja tabung gas LPG 3 kg dilakukan pada kedua sampel (lokal & impor), dengan menggunakan alat OES (*Optical Emission Spectrometry*). Tujuan pengujian ini adalah untuk membandingkan kandungan komposisi kedua material lembaran baja terhadap kesesuaian dengan standar JIS G3116 SG295. Hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa kedua hasil pengujian komposisi kimia masih masuk dalam rentang persyaratan standar material baja JIS G3116 SG295. Baja lembaran kedua produk tersebut masuk dalam klasifikasi baja karbon rendah (*low carbon steel*). Jadi secara komposisi kimia tidak ditemukan adanya perbedaan yang berarti. Untuk melihat kemampuannya (*weldability*) maka umumnya mengacu pada nilai karbon ekivalen (CE) yang diadopsi dari *International Welding Institute* (IIW). Dari Tabel 1 terlihat bahwa nilai CE produk lokal lebih rendah dibandingkan dengan produk impor. Demikian pula untuk nilai sensitifitas retak (Pcm), produk impor lebih sensitif terhadap retak karena nilai Pcm-nya mendekati nilai kritis (0.23 maks) dibandingkan produk lokal.

3.2 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik bahan baku lembaran baja tabung gas LPG 3 kg dilakukan pada kedua sampel (lokal & impor), dengan menggunakan mesin uji tarik *Shimadzu Servopulser* dengan kapasitas 20 Ton (200 KN). Pengujian menggunakan standar pengujian JIS Z 2201. Tujuan pengujian ini adalah untuk membandingkan kekuatan tarik kedua material lembaran baja pada setiap arah giling terhadap kesesuaiannya dengan standar JIS G3116 SG295. Sampel yang diambil berjumlah 3 buah untuk setiap arah giling (*rolling direction*) yaitu arah 0°, 45° dan 90° terhadap arah giling. Hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 yang memperlihatkan bahwa kekuatan tarik untuk setiap arah giling bervariasi untuk setiap lembaran yang diuji.

Tabel 1 Perbandingan Komposisi Kimia Bahan Baku antara Produk Lokal dengan Impor

Unsur Kimia	Jumlah Kandungan Unsur (%)		JIS G3116 SG295
	Lokal	Impor	
C	0,108	0,156	0.20 max
Si	0,212	0,031	0.35 max
Mn	0,638	0,604	1.00 max
P	0,0246	0,0288	0.040 max
S	0,0111	0,0095	0.040 max
Cr	0,0233	0,0471	-
Mo	0.0050	0.0050	-
Ni	0,0384	0,0421	-
Al	0,0020	0,0134	-
Cu	0.0579	0.1170	-
Nb	0.0021	0.0020	-
Ti	0.0153	0.0243	-
V	0.0061	0.0001	-
B	0.0032	0.0029	-
Zr	0.0032	0.0037	-
CE (IIW) *)	0.23	0.28	0.40 max
Pcm **)	0.17	0.21	0.23 max

*) CE (IIW) (%) = $C + (Mn)/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$

**) Pcm (%) = $C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$

Tabel 2 Perbandingan Kekuatan Tarik Lembaran Baja Produk Lokal dan Impor

Arah Giling	Lokal	Impor	JIS G3116 SG295
A. 0 ° Arah Giling			
▪ Kek Luluh, MPa	380	333	295 min
▪ Kek Tarik, MPa	493	463	440 min
▪ Elongasi, %	36	33	26 min
B. 45 ° Arah Giling			
▪ Kek Luluh, MPa	373	343	295 min
▪ Kek Tarik, MPa	490	473	440 min
▪ Elongasi, %	36	31	26 min
C. 90 ° Arah Giling			
▪ Kek Luluh, MPa	353	323	295 min
▪ Kek Tarik, MPa	480	470	440 min
▪ Elongasi, %	35	29	26 min

Berdasarkan Tabel 2 diatas, hasil pengujian tarik kedua jenis lembaran baja (lokal & impor) masih masuk dalam rentang persyaratan standar material baja JIS G3116 SG295. Namun demikian dari hasil perbandingan nilai kekuatan rata-ratanya terlihat bahwa kekuatan tarik material lokal lebih tinggi dibandingkan dengan material impor, baik dilihat dari kekuatan tarik,

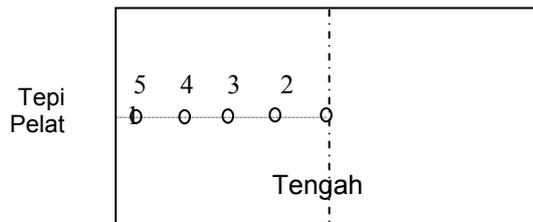
kekuatan luluh maupun keuletannya (*elongasi*). Mengingat proses manufaktur (pembuatan) tabung gas LPG 3 kg melibatkan proses pembentukan (*metal forming – deep drawing*) dan pengelasan (*welding*), maka sifat yang paling penting adalah kekuatannya (tarik dan luluh) serta keuletannya (*elongasinya*). Semakin tinggi kekuatannya maka semakin baik material

tersebut menahan beban dari luar (seperti tekanan gas maupun benturan). Demikian pula semakin tinggi keuletannya maka semakin baik material tersebut untuk diubah bentuk (*deep drawing*) dan mampu menahan pembebanan sebelum retak maupun pecah. Oleh karena itu dari segi proses manufakturnya (*formability*) maka produk lokal lebih baik dibandingkan dengan produk impor.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekuatan kekerasan bahan baku lembaran baja tabung gas LPG 3 kg dilakukan pada kedua sampel (lokal dan impor), dengan menggunakan mesin uji kekerasan vikers. Pengujian menggunakan standar pengujian JIS Z 2244 dimana setiap sampel dijejak sebanyak 5 kali dan di rata-rata. Tujuan pengujian ini adalah untuk membandingkan kekerasan kedua

material lembaran baja pada setiap arah giling terhadap kesesuaiannya dengan standar JIS G3116 SG295. Sampel yang diambil berjumlah 1 buah untuk setiap arah giling (*rolling direction*) yaitu arah 0° terhadap arah giling. Hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dengan skematis penjejakan seperti Gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1 Skematis Penjejakan Kekerasan Lembaran Baja Produk Lokal & Impor

Tabel 3 Perbandingan Kekerasan Lembaran Baja Produk Lokal dan Impor

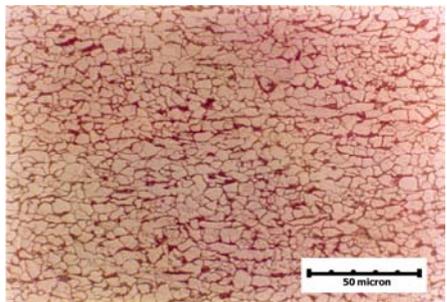
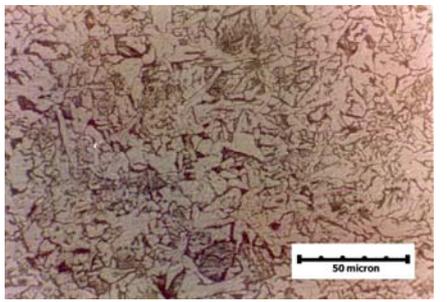
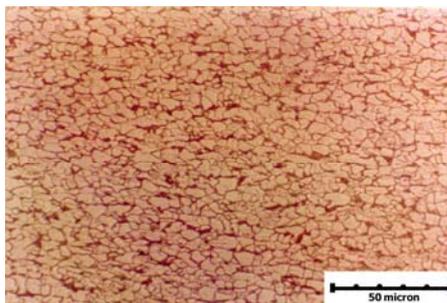
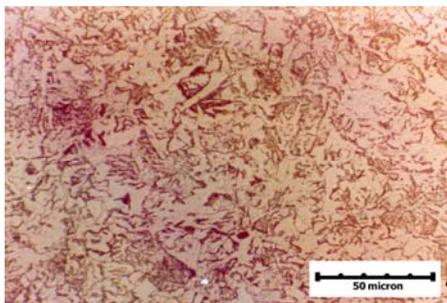
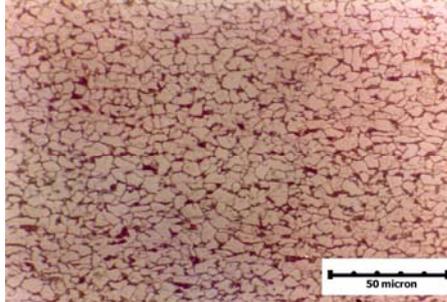
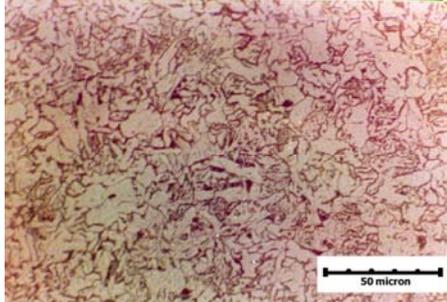
Arah Giling	Lokal	Impor	JIS G3116 SG295
0 ° Arah Giling			
▪ 1. Tengah (Inti) (HV)	141	143	-
▪ 2. 250 µm dari inti (HV)	141	143	-
▪ 3. 500 µm dari inti (HV)	143	144	-
▪ 4. 750 µm dari inti (HV)	144	144	-
▪ 5. Tepi, (HV)	154	144	-

Berdasarkan Tabel 3 diatas, hasil pengujian kekerasan kedua jenis lembaran baja (lokal & impor) menunjukkan bahwa nilai kekerasan kedua material tersebut tidak berbeda secara signifikan. Pada bagian tepi material produk lokal terlihat bahwa nilai kekerasan bagian tepi sedikit lebih tinggi (berbeda sekitar 11 s/d 13 HV) dibandingkan dengan nilai bagian lain. Sedangkan nilai kekerasan pada baja lembaran impor terlihat merata antara lokasi tepi dan tengah pelat. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya proses perlakuan panas (seperti *annealing*) yang diberikan pada baja lembaran produk impor sehingga kekerasannya merata disetiap titik.

3.4 Hasil Pengamatan Metalografi (Mikro Struktur)

Pengamatan mikrostruktur bahan baku lembaran baja tabung gas LPG 3 kg dilakukan pada kedua sampel (lokal dan impor), dengan menggunakan mikroskop optik (OM) dengan pembesaran

500X. Pengujian menggunakan standar pengujian JIS G 0551 dimana setiap sampel diamati pada 3 arah giling yang berbeda (0, 45 dan 90 derajat dari arah giling). Tujuan pengamatan ini adalah untuk membandingkan struktur mikro kedua material lembaran baja pada setiap arah giling. Sampel yang diambil berjumlah 3 buah untuk setiap arah giling (*rolling direction*) yaitu arah 0°, 45° dan 90° terhadap arah giling dan dilakukan preparasi sesuai prosedur teknik metalografi dan selanjutnya difoto dibawah mikroskop optik. Hasil pengamatan metalografi dapat dilihat pada Gambar 2.

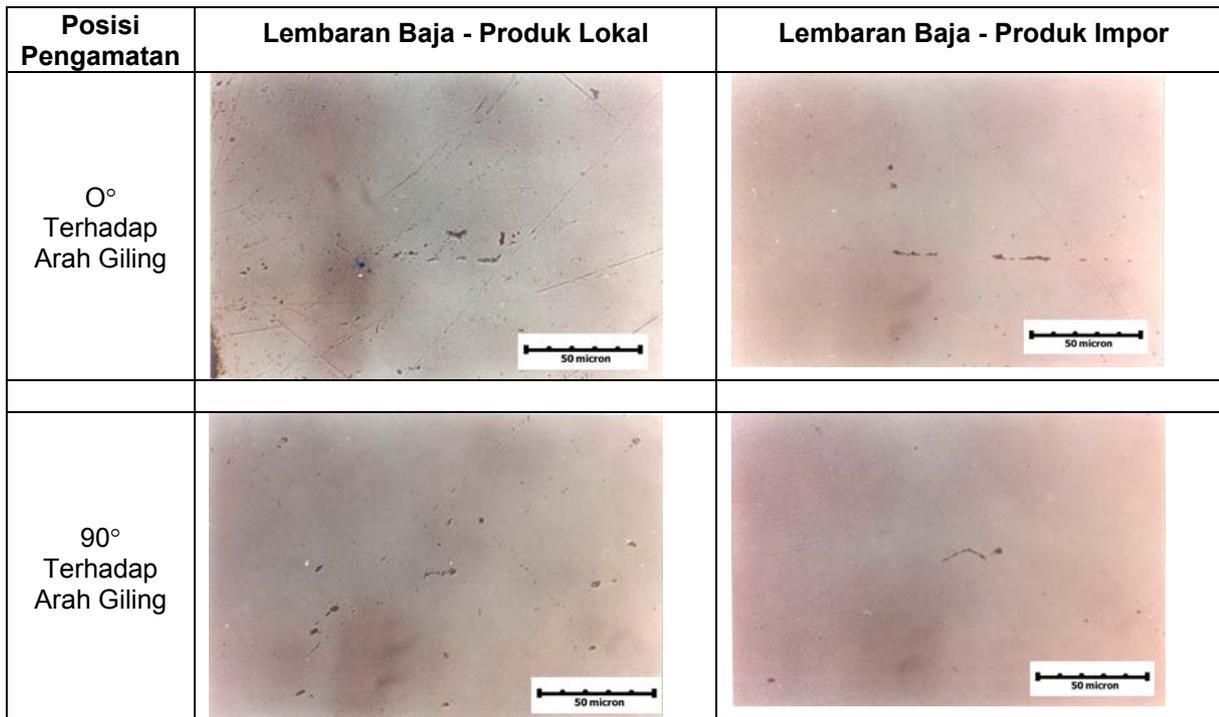
Posisi Pengamatan	Lembaran Baja - Produk Lokal	Lembaran Baja - Produk Impor
0° Terhadap Arah Giling		
45° Terhadap Arah Giling		
90° Terhadap Arah Giling		

Gambar 2 Mikro-Struktur Lembaran Baja Produk Lokal & Impor terhadap Arah Giling, Etsa Nital.

Berdasarkan Gambar 2 diatas, hasil pengamatan mikrostruktur kedua jenis lembaran baja (lokal & impor) menunjukkan bahwa struktur mikro baja lembaran produk lokal menunjukkan struktur yang mikro yang lebih membulat dan seragam dengan batas butir yang sangat jelas, sedangkan pada struktur mikro baja lembaran impor terlihat struktur mikro yang meyerupai "widmanstater" yaitu struktur mikro di HAZ lasan. Struktur matriknya didominasi oleh struktur *accicular ferritic* yaitu struktur yang terjadi akibat adanya proses pemanasan hingga temperatur austenit (*austenitizing temperature*) yang dilanjutkan dengan proses pendinginan cepat (*quenching*), sehingga strukturnya memiliki bilah-bilah yang tajam. Struktur ini lebih rentan terhadap terbentuknya retakan (*crack*).

3.5 Hasil Pengamatan Inklusi

Pengamatan ukuran inklusi bahan baku lembaran baja tabung gas LPG 3 kg dilakukan pada kedua sampel (lokal dan impor), dengan menggunakan mikroskop optik (OM) dengan pembesaran 500X dan SEM dengan pembesaran 500X. Pengujian menggunakan standar pengujian JIS G 0555 dimana setiap sampel diamati pada 2 arah giling yang berbeda (0 dan 90 derajat dari arah giling). Tujuan pengamatan ini adalah untuk membandingkan ukuran inklusi kedua material lembaran baja pada setiap arah giling. Sampel yang diambil berjumlah 2 buah yaitu arah 0° dan 90° terhadap arah giling dan dilakukan preparasi sesuai prosedur teknik metalografi dan selanjutnya difoto dibawah mikroskop optik & SEM. Hasil pengamatan inklusi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Foto Ukuran Inklusi lembaran Baja Produk Lokal & Impor (Warna Abu-abu) terhadap Arah Giling & Diamati dengan Mikroskop Optik (OM), tanpa Etsa

Hasil pengamatan inklusi dengan mikroskop optik, seperti terlihat pada Gambar 3 diatas, menunjukkan bahwa ukuran inklusi produk impor terlihat lebih panjang dibandingkan dengan ukuran inklusi di produk lokal.

Untuk mengamati lebih detail terhadap ukuran inklusi, maka dilakukan pengamatan dengan mikroskop elektron (*scanning electron microscope*) dengan skala pengukuran yang lebih presisi seperti terlihat pada Gambar 4.

Hasil pengamatan inklusi dengan mikroskop elektron, seperti terlihat pada Gambar 4, menunjukkan bahwa ukuran inklusi terpanjang produk impor adalah 58,4 µm (mikron), sedangkan ukuran inklusi terpanjang produk lokal adalah 42,7 µm (mikron) atau sekitar dua pertiga-kali dari panjang inklusi produk impor.

Untuk mengetahui komposisi kimiawi dari inklusi (*non-metallic inclusion - NMI*), dilakukan pengujian dengan menggunakan *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS). Hasil pengujian EDS ditemukan endapan (*presipitasi*) inklusi yang mengandung unsur-unsur kimia seperti: Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Silikon (Si), Kalsium (Ca), Titanium (Ti), Oksigen (O), Karbon (C) dan Sulfur (S). Unsur-unsur tersebut membentuk suatu senyawa yang kompleks.

Inklusi adalah suatu impuritis (kotoran) membentuk pola garis lurus (*stringer*) baik

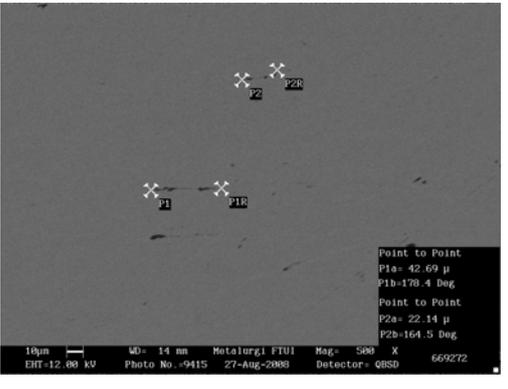
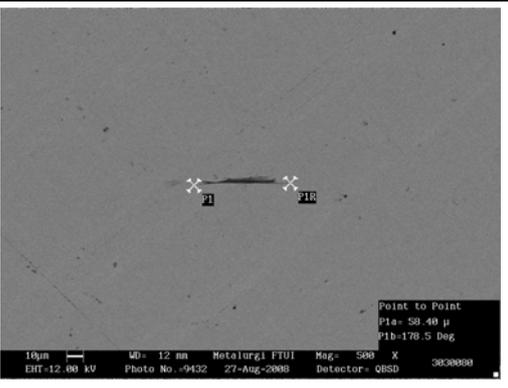
berupa inklusi logam (*metallic*) atau inklusi non-logam (*non metallic*) yang terperangkap dalam *ingot* dan membentuk lonjongan (*elongated*) searah dengan arah giling (*rolling direction*).[1]

Permintaan yang meningkat akan baja berkualitas, membuat para produsen baja berupaya untuk memproduksi baja dengan kualitas bersih (*cleanliness requirements*). Inklusi non-logam (*non-metallic inclusions*) merupakan problem yang sangat signifikan dalam penuangan baja (*cast steels*) yang dapat menyebabkan produk menjadi di tolak (*reject*). Ginzburg dan Ballas[2] telah meneliti cacat-cacat yang terjadi di *slabs* dan *hot rolled products*, dimana umumnya berhubungan dengan inklusi. Sifat mekanis baja dikontrol oleh tingkat fraksi, ukuran, distribusi, komposisi serta morfologi dari inklusi dan endapan yang terbentuk dimana inklusi dan endapan berperan meningkatkan konsentrasi tegangan (*stress raisers*). Ukuran inklusi sangat penting karena semakin besar ukuran inklusi akan menurunkan sifat mekanis.[3,4]

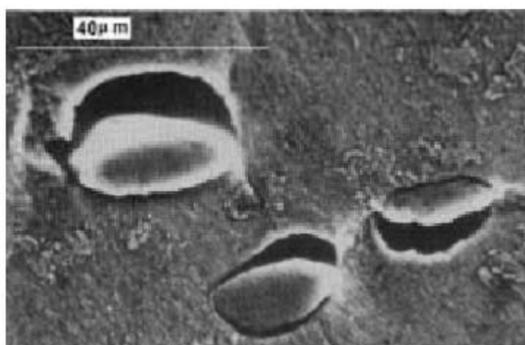
Sifat keuletan (*ductility*) akan menurun bila jumlah inklusi berupa senyawa oksida dan sulfida meningkat.[5] Ketangguhan terhadap kegetasan (*fracture toughness*) juga akan menurun bila jumlah inklusi dalam material meningkat. Gambar 5 menunjukkan pengaruh inklusi terhadap pembentukan *void* dan

menyebabkan retak.[5] Untuk menghindari hal tersebut maka inklusi dalam baja harus dikontrol dengan baik dengan mengatur ukurannya untuk tidak melebihi ukuran kritis. Tabel 1

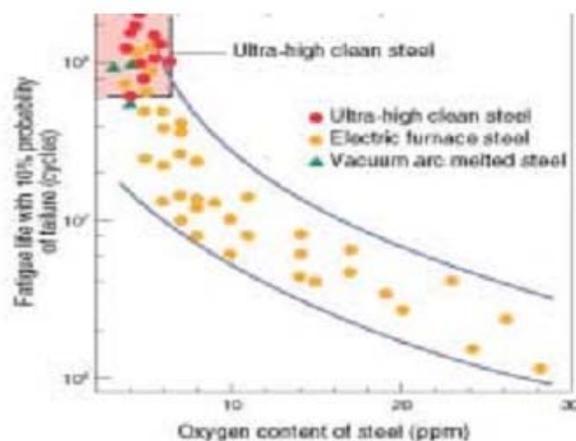
memperlihatkan batasan ukuran kritis dalam berbagai aplikasi produk baja.[6,7]

Lembaran Baja	O° Terhadap Arah Giling (<i>rolling direction</i>)
Produk Lokal	
Produk Impor	

Gambar 4 Foto SEM tentang Ukuran Inklusi Lembaran Baja Produk Lokal & Impor terhadap Arah Giling & Diamati dengan Mikroskop Elektron (SEM), tanpa Etsa



Gambar 5 Pengaruh Deformasi Inklusi yang Berakibat Terbentuknya Lubang (Void) [7]



Gambar 6 Hubungan antara Umur Fatik dan Kandungan Oksigen pada Baja Bantalan (Bearing Steels) [7]

Tabel 4 Persyaratan Kebersihan Berbagai Jenis Produk Baja [7]

Steel product	Maximum impurity fraction	Maximum inclusion size
Automotive & deep-drawing Sheet	[C]≤30ppm, [N]≤30ppm ¹³⁾	100µm ^{13, 14)}
Drawn and Ironed cans	[C]≤30ppm, [N]≤30ppm, T.O.≤20ppm ¹³⁾	20µm ¹³⁾
Line pipe	[S]≤30ppm ¹⁵⁾ , [N]≤35ppm, T.O.≤30ppm ¹⁶⁾ , [N]≤50ppm ¹⁷⁾	100µm ¹³⁾
Ball Bearings	T.O.≤10ppm ^{15, 18)}	15µm ^{16, 18)}
Tire cord	[H]≤2ppm, [N]≤40ppm, T.O.≤15ppm ¹⁶⁾	10µm ¹⁶⁾ 20µm ¹⁴⁾
Heavy plate steel	[H]≤2ppm, [N]30-40ppm, T.O.≤20ppm ¹⁶⁾	Single inclusion 13µm ¹³⁾ Cluster 200µm ¹³⁾
Wire	[N]≤60ppm, T.O.≤30ppm ¹⁶⁾	20µm ¹⁶⁾

4. KESIMPULAN

Dari pengujian dan pengamatan terhadap 2 jenis lembaran baja produk lokal dan impor dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Persyaratan spesifikasi bahan baku (*raw material*) lembaran baja kedua produk secara umum memenuhi standar JIS G3116 SG295.
- Sifat kekuatan tarik, kekuatan luluh (*yield*) dan keuletan pada baja lembaran produk lokal lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan nilai sifat mekanis pada produk impor. Hal ini akan meningkatkan sifat manufakturnya seperti kemampuan untuk di bentuk (*formability*) dan kemampuan untuk di las (*weldability*).
- Struktur mikro baja lembaran produk lokal memiliki struktur yang halus dan butir yang membulat (*rounded grain*) yang seluruhnya didominasi oleh struktur *ferrit*. Struktur ini sangat baik untuk proses pembentukan (*deep drawing*). Sedangkan pada lembaran baja produk impor banyak didominasi oleh struktur asikular ferit (*acicular ferrite*) yang merupakan struktur hasil proses perlakuan panas (*heat treatment*). Struktur ini umumnya rentan terhadap terbentuknya retakan (*crack*) pada saat di manufaktur (pembentukan dan pengelasan).
- Baja lembaran produk lokal memiliki tingkat kebersihan (*clean steel*) yang lebih baik dibandingkan produk impor, dimana ukuran inklusi yang diamati lebih kecil pada produk lokal dibandingkan dengan ukuran inklusi produk impor. Hal ini akan berpengaruh pada proses manufaktur pembuatan tabung LPG 3kg nya seperti kerentanan terhadap retakan (*crack sensitivity*) pada saat proses pembentukan (*deep drawing*) & pengelasannya (*welding*).

DAFTAR PUSTAKA

- <http://www.steelforge.com/steellogs.htm?letter=I> (Inclusion)
- V. B. Ginzburg and R. Ballas, in Flat Rolling Fundamentals, eds., Marcel Dekker, Inc., New York . Basel, (2000), 354-378.
- T. Hansen and P. Jonsson: 2001 Electric Furnace Conference Proceedings, ISS, Warrendale, PA, (2001), 59, 71-81.
- P. K. Trojan: ASM International, ASM Handbook, (1988), 15 (Casting), 88.
- T. J. Baker and J. A. Charles: Effect of Second-Phase Particles on the Mechanical Properties of Steel, M.J. May, eds., The Iron and Steel Institute, (1971), 88-94.
- A. D. Wilson, in Advances in the production and Use of Steel with Improved Internal Cleanliness, J.K. Mahaney, eds., American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, USA, (1999), 73-88. (1994).
- L. Zhang and B. G. Thomas: Inclusions In Continuous Casting Of Steel, National Steel Making Symposium XXIV, Mexico, 26-28 November (2003), 138-183 ISIJ Inter, (2003), 43(3), 271.
- Handbook of JIS Standard – 2005 (English Version)
- Standard Nasional Indonesia (SNI) 1452:2007.

BIODATA

Winarto & Johny Wahyuadi S

Departemen Metalurgi & Material – Fakultas Teknik Universitas Indonesia; Kampus Baru – UI, Depok – 16424, Phn. 021-7863510, Fax. 021-7872350; e-mail: winarto@metal.ui.ac.id, jwsono@metal.ui.ac.id