

Pengaruh Waktu Tahan pada Perlakuan Panas Pasca Pengelasan terhadap Kekerasan dan Kuat Tarik Baja Karbon ASTM A106 Grade B

M. Nizar Machmud^{1,*}, Defri Maulana¹, Husaini¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdurrauf No. 7 Darussalam – Banda Aceh 23111, INDONESIA

*E-mail: mnizar.machmud@gmail.com

Abstract

Experimental investigations to study significant effects of employing a post weld heat treatment (PWHT) technique on mechanical properties of the welded carbon steel have been performed. This paper presents a study on hardness and tensile strength characteristics of a carbon steel A106 grade B welded using shielded metal arc welding (SMAW) method with employing normalizing procedures. With the PWHT technique, heating temperature of the steel, that was set up to 850°C, was then maintained for these following set of holding times: 10, 20 and 30 minutes before cooling. Heating and cooling rates of the carbon steel were also slowly maintained. Investigation results under tension showed that the tensile strength of the carbon steel decreased with increase of the holding time. The best tensile strength was achieved by the carbon steel treated with a holding time for 20 min. Toughness of the carbon steel under tension is also discussed in order to correlate the influence of employing the PWHT technique on their fracture modes. Investigation with Vickers hardness test showed that the Vickers hardness on weld metal, weld line, heat-affected zone (HAZ) and base metal of the welded carbon steel, respectively, decreased and tended to be equivalent with the increase of the holding time.

Keywords: Normalizing, Post weld heat treatment (PWHT), Hardness, Tensile strength.

1. Pendahuluan

ASTM A106 Grade B merupakan jenis pipa yang umum digunakan sebagai pipa penyaluran gas dan minyak bumi di berbagai industri terkait. Pipa ini terbuat dari baja karbon dengan kandungan karbon maksimum 0,30% C yang memiliki kekuatan tarik minimum sebesar 415 MPa [1].

Terkait aplikasinya sebagai pipa penyaluran gas dan minyak bumi, pemilihan terhadap teknik penyambungan antar pipa dengan metode pengelasan merupakan teknik yang telah lumrah dilakukan. Namun, teknik penyambungan dengan metode pengelasan tersebut menghasilkan siklus termal yang beragam di dekat daerah lasan sebagai akibat dari pencairan material (material melting) dan pendinginan yang terjadi secara bergantian selama proses pengelasan tersebut berlangsung. Siklus termal tersebut selanjutnya memicu terbentuknya heat affected zone (HAZ) yang lebih keras dan tegangan tarik sisa di sepanjang lasan. Akibat pengelasan, sifat-sifat mekanik di sepanjang lasan dengan demikian juga menjadi sangat beragam dan biasanya juga diikuti oleh munculnya masalah-masalah metalurgi lainnya [2-11]. Berbagai masalah yang muncul sebagai dampak dari pengelasan tersebut merupakan penyebab dari menurunnya kemampuan dari suatu struktur yang terbuat dari material baja karbon di banyak kasus. Berbagai masalah tersebut karenanya harus dieliminasi untuk mendapatkan suatu struktur dengan performan seperti

yang diinginkan. Pengabaianya bahkan dapat memicu retak dingin (cold cracking) pada daerah sekitar antara lasan dan base metal.

Beberapa teknik perlakuan panas baik sebelum maupun sesudah pengelasan yang dilakukan untuk mengeliminasi masalah-masalah yang muncul sebagai dampak dari proses pengelasan tersebut telah banyak dikaji [11]. Namun, kajian-kajian terkait yang dilakukan terhadap suatu struktur yang memiliki geometri tertentu, seperti pipa misalnya, masih sangat jarang ditemukan [2] dan oleh karenanya menjadi sangat penting untuk dilakukan mengingat geometri dari suatu struktur juga merupakan parameter penting yang turut dipertimbangkan dalam suatu analisis struktur yang mengalami pembebanan tertentu.

Pada penelitian ini, kajian dilakukan untuk memahami pengaruh perlakuan panas normalizing pasca pengelasan (PWHT) terhadap kekerasan dan kuat tarik dari suatu struktur pipa ASTM A106 Grade B yang terbuat dari material baja karbon. Selain itu, kajian pengaruh perlakuan panas tersebut terhadap keduanya juga akan dikorelasikan dengan keuletan dan mode perpatahan dari struktur pipa tersebut.

2. Material dan Metode Eksperimental

2.1 Material

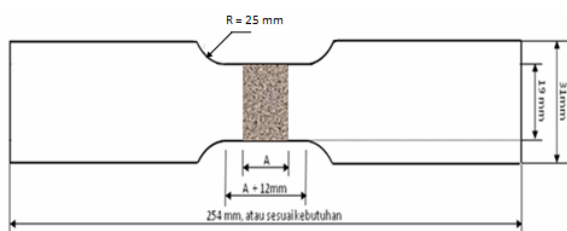
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon ASTM 106 Grade B Sch 40. Material disuplai oleh PT. Prime Petroservice dalam

bentuk seamless pipe. Penyambungan dengan pengelasan terhadap seamless pipe tersebut telah dilakukan dengan metode shielded metal arc welding (SMAW) sesuai dengan standard prosedur pengelasan WPS-ASME IX/09.

2.2 Metode Experimental

2.2.1 Pengujian Tarik

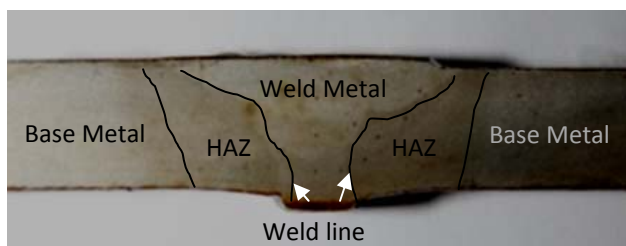
Seamless pipe yang disuplai oleh PT. Prime Petroservice tersebut selanjutnya dibentuk untuk mendapatkan geometri dan dimensi spesimen uji tarik seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1 sebagaimana geometri dan dimensi spesimen uji tarik yang dianjurkan menurut ASME Sec. IX 2004. Pengujian tarik dilakukan untuk mendapatkan kuat tarik dan serapan energi, yang masing-masing menyatakan kekuatan dan keuletan serta ketangguhan dari material baja karbon A106 Grade B yang telah mengalami penyambungan dengan pengelasan tersebut.



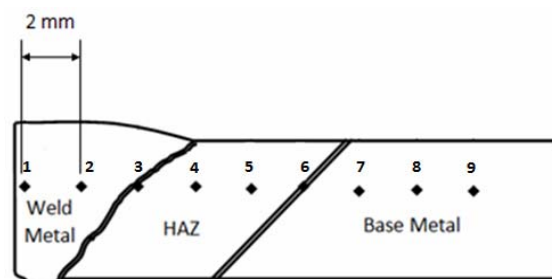
Gambar 1. Geometri dan dimensi dari spesimen uji tarik

2.2.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan terhadap material dilakukan terhadap spesimen yang telah melalui proses polishing dan etching. Gambar 2 menunjukkan spesimen yang telah ditandai setelah proses polishing dan etching. Pengujian kekerasan terhadap spesimen dilakukan dengan menggunakan metode pengujian kekerasan Vickers dari ASTM E92. Indentasi dilakukan pada beberapa titik dengan pembebanan indentasi 10 kg, di daerah weld metal, weld line, HAZ dan base metal, dengan jarak antar indentasi sebesar 2 mm seperti diilustrasikan pada Gambar 3.



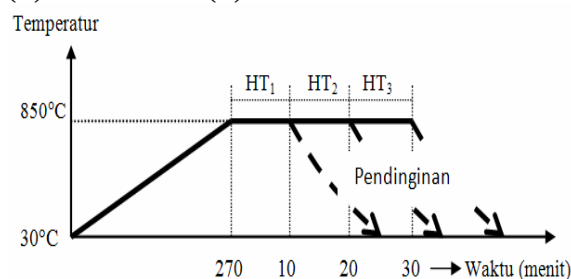
Gambar 2. Spesimen yang telah mengalami polishing dan etching yang dipersiapkan untuk pengujian kekerasan



Gambar 3. Ilustrasi dari titik dan jarak antar indentasi pada uji kekerasan

2.2.3 Perlakuan Panas

Perlakuan panas dengan metode perlakuan panas normalizing dilakukan terhadap spesimen-spesimen uji tarik dan uji kekerasan yang telah mengalami penyambungan dengan metode pengelasan SMAW. Pada metode perlakuan panas ini, spesimen-spesimen uji tarik dan kekerasan tersebut dipanaskan dari temperatur kamar (30°C) hingga temperatur 850°C. Temperatur terakhir ini selanjutnya ditahan pada tiga variasi waktu masing-masing selama 10, 20, dan 30 menit sebelum pendinginan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4. Pada penelitian ini, pendinginan terhadap spesimen-spesimen uji tarik dan uji kekerasan tersebut dilakukan di dalam dapur pemanas. Spesimen uji tarik dan uji kekerasan yang tidak mengalami perlakuan panas normalizing tersebut juga turut disiapkan sebagai spesimen referensi. Dari kiri ke kanan pada Gambar 5, secara berturut-turut menampilkan spesimen-spesimen uji tarik dan uji kekerasan yang tidak mengalami PWHT (X) dan yang menerima perlakuan panas normalizing dengan waktu tahan selama 10 menit (A), 20 menit (B) serta 30 menit (C).



Gambar 4. Metode perlakuan panas normalizing

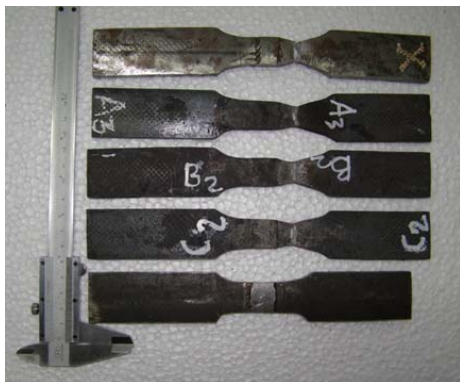


Gambar 5. Spesimen-spesimen uji tarik dan uji kekerasan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil uji tarik

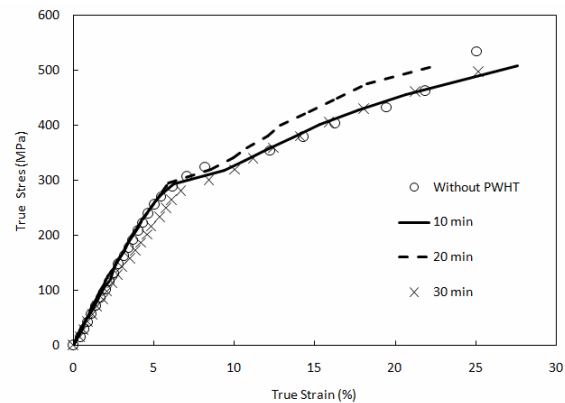
Dari pengujian tarik yang telah dilakukan, ditemukan bahwa perpatahan pada spesimen umumnya terjadi di daerah base metal (Lihat Gambar 6). Hasil pengamatan pada perpatahan tersebut menyimpulkan bahwa kekuatan sambungan las pada pipa baja A106 tersebut masih berada di atas nilai kekuatan minimum dari base metal yang berkisar 415 MPa. Hanya spesimen yang telah menerima PWHT pada waktu tahan selama 20 menit saja yang mengalami perpatahan di sekitar daerah HAZ. Daerah HAZ merupakan daerah yang lebih getas dibandingkan dengan daerah base metal karena memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan kekerasan di daerah base metal (lihat data uji kekerasan spesimen setelah menerima PWHT). Tampak pada Gambar 9 bahwa sebelum putus spesimen yang telah menerima PWHT pada waktu tahan selama 20 menit (spesimen B) tersebut mengalami deformasi di sekitar HAZ dan karenanya spesimen tidak mengalami necking yang berarti sehingga putus dengan perpanjangan yang lebih rendah dibandingkan spesimen yang lain (Lihat Gambar 10).



Gambar 6. Beberapa spesimen uji tarik setelah pengujian. Yang paling bawah adalah dimensi awal spesimen sebelum dilakukan uji tarik.

Dari suatu hubungan true stress-true strain seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7, diketahui bahwa sebelum putus, semua spesimen baja karbon A106 baik yang tidak menerima maupun yang menerima PWHT dengan metode normalizing tersebut telah memamerkan deformasi plastik yang signifikan pada pembebanan tarik. Walaupun spesimen baja karbon A106 yang menerima PWHT pada waktu tahan selama 20 menit tersebut putus lebih awal, sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 7 tadi, spesimen baja karbon tersebut, memiliki kuat tarik rata-rata yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen yang menerima PWHT pada waktu tahan lainnya. Putus lebih awalnya spesimen ini disebabkan oleh lebih

tingginya nilai kekerasan di sekitar HAZ untuk spesimen ini sebagaimana data uji kekerasan spesimen tersebut yang disajikan pada Gambar 16. Keuletan dan ketangguhannya pun menurun sebagaimana yang telah diperlihatkan pada Gambar 9.



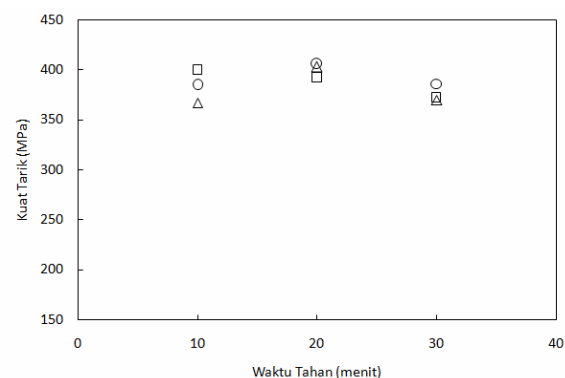
Gambar 7. Diagram hubungan true stress-true strain dari baja karbon ASTM A106 Grade B

Perbandingan antara ketiganya dan baja karbon A106 tanpa PWHT dapat merujuk ke Tabel 1. Terlihat bahwa kuat tarik rata-rata dari baja karbon A106 tanpa PWHT adalah sebesar 409 MPa. Nilai ini masih berada di bawah kekuatan minimum dari base metal.

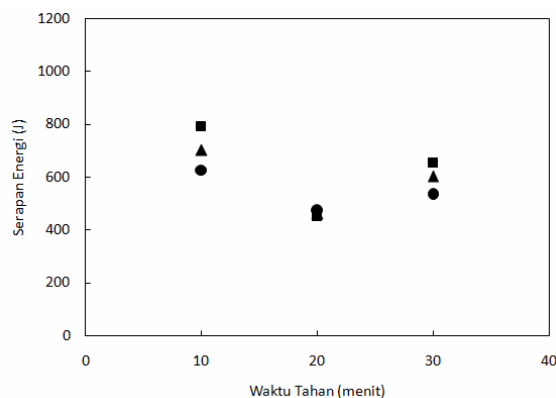
Tabel 1. Kuat tarik dan serapan energi dari material ASTM A106 Grade B yang tidak menerima PWHT

Material	Kondisi	PWHT	Kuat Tarik (MPa)	Serapan Energi (J)
ASTM A106 Grade B	Welded	X*	416.08	525.83
	Welded	X*	394.74	459.06
	Welded	X*	415.22	492.44

* Tidak menerima PWHT



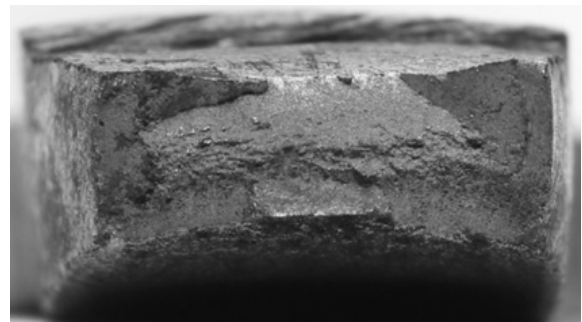
Gambar 8. Kuat tarik dari baja karbon ASTM A106 Grade B menurut waktu tahan



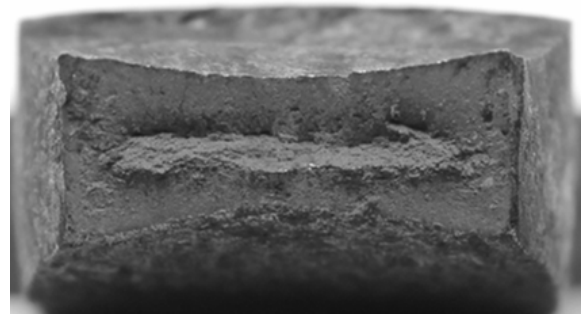
Gambar 9. Serapan energi dari baja karbon ASTM A106 Grade B menurut waktu tahan

3.2 Mode Perpatahan

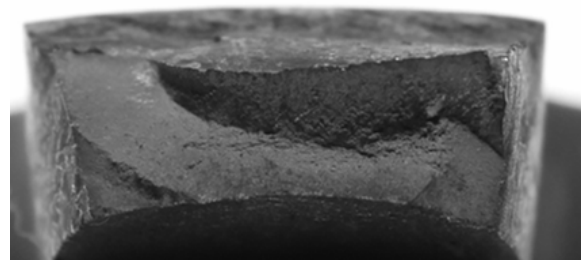
Dari permukaan patah spesimen terlihat bahwa baik spesimen A106 yang tidak menerima PWHT maupun yang menerima PWHT semuanya memamerkan patah getas. Spesimen A106 yang tidak menerima PWHT (Gambar 10) dan yang menerima PWHT pada waktu tahan selama 10 menit (Gambar 11) bahkan memamerkan mode perpatahan dan deformasi yang hampir serupa. Mode perpatahan dan deformasi keduanya hampir serupa karena perpatahan keduanya terjadi di daerah base metal. Tidak ada perbedaan yang signifikan dari nilai kekerasan dari keduanya di daerah tersebut sebagaimana tampak pada Gambar 14 dan Gambar 15. Sementara itu walaupun memamerkan mode perpatahan yang hampir serupa dengan mode perpatahan dari dua spesimen sebelumnya di atas, spesimen A106 yang menerima PWHT pada waktu tahan selama 30 menit (Gambar 13) ini memamerkan perpatahan yang lebih getas dengan deformasi yang sangat minim dibandingkan dari dua spesimen sebelumnya tersebut karena nilai kekerasan di daerah base metal yang merupakan lokasi dimana perpatahan dari spesimen ini terjadi lebih besar dibandingkan dengan nilai kekerasan di daerah yang sama dari dua spesimen sebelumnya (Lihat Gambar 17). Hal berbeda terjadi pada spesimen A106 yang menerima PWHT pada waktu tahan selama 20 menit (Gambar 12). Mode perpatahan dan deformasinya berbeda dengan yang lainnya. Perbedaan tersebut kemungkinan besar disebabkan oleh karena lokasi perpatahannya yang berbeda dengan lokasi perpatahan dari ketiga spesimen sebelumnya.



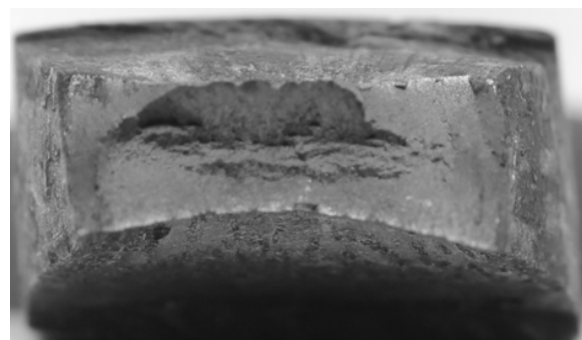
Gambar 10. Permukaan patah dari baja karbon ASTM A106 Grade B yang tidak menerima PWHT



Gambar 11. Permukaan patah dari baja karbon ASTM A106 Grade B yang menerima PWHT dengan waktu tahan 10 menit



Gambar 12. Permukaan patah dari baja karbon ASTM A106 Grade B yang menerima PWHT dengan waktu tahan 20 menit

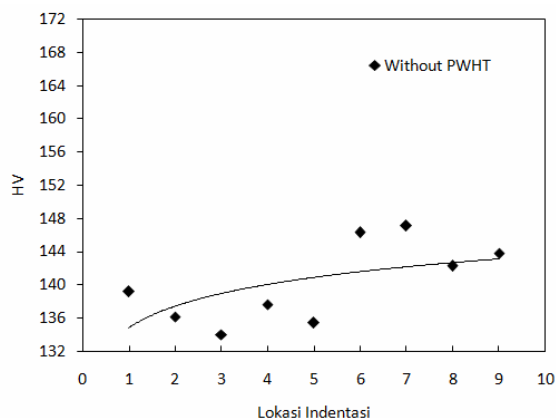


Gambar 13. Permukaan patah dari baja karbon ASTM A106 Grade B yang menerima PWHT dengan waktu tahan 30 menit

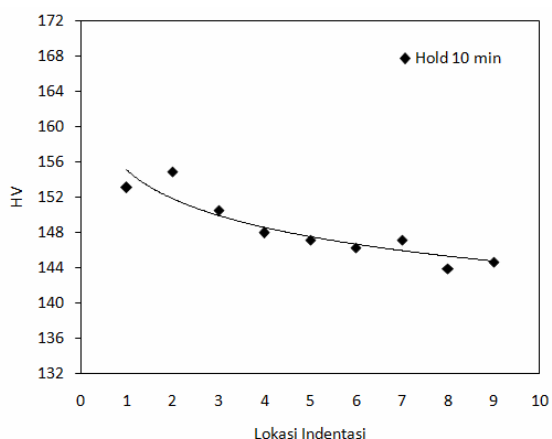
3.2 Hasil uji kekerasan

Perlakuan panas pasca pengelasan yang dilakukan terhadap spesimen A106 mempengaruhi nilai-nilai kekerasan di daerah lasan, HAZ dan base

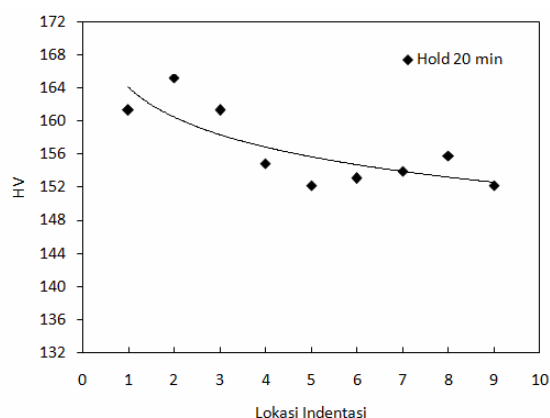
metal. Secara umum, data uji kekerasan di beberapa lokasi indentasi menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan nilai kekerasan di daerah-daerah tersebut akibat perlakuan panas dengan metode normalizing. Terdapat kecenderungan bahwa nilai kekerasan tersebut akan seragam seiring dengan peningkatan waktu tahan sebagaimana data uji kekerasan yang disajikan pada Gambar 17. Terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara data uji kekerasan dari spesimen A106 yang menerima PWHT pada waktu tahan selama 20 menit (Gambar 16) dengan spesimen A106 lainnya. Perbedaan yang sangat mencolok tersebut menghasilkan material yang memiliki karakteristik perpatahan dan deformasi yang berbeda pula dengan yang lainnya sebagaimana yang telah didiskusikan sebelumnya.



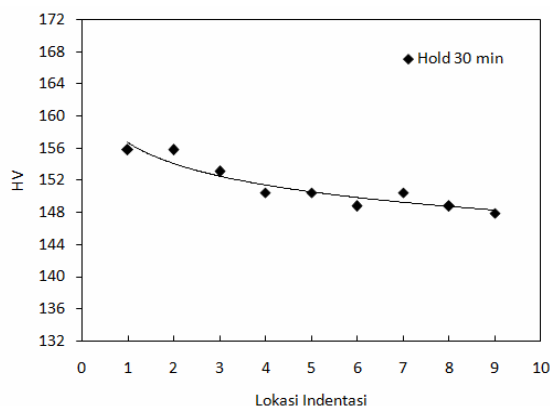
Gambar 14. Nilai kekerasan Vickers dari A106 Grade B yang tidak menerima PWHT



Gambar 15. Nilai kekerasan Vickers dari A106 Grade B yang menerima PWHT pada waktu tahan selama 10 menit



Gambar 16. Nilai kekerasan Vickers dari A106 Grade B yang menerima PWHT pada waktu tahan selama 20 menit



Gambar 17. Nilai kekerasan Vickers dari A106 Grade B yang menerima PWHT pada waktu tahan selama 30 menit

4. Kesimpulan

Kajian pengaruh waktu tahan pada perlakuan panas pasca pengelasan terhadap kekerasan dan kuat tarik baja karbon ASTM A106 Grade B telah dilakukan. Perlakuan panas pasca pengelasan yang dilakukan terhadap material baja karbon A106 tersebut mempengaruhi kekerasan di daerah lasan, HAZ dan base metal. Perlakuan panas dengan metode normalizing, telah menyebabkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan di daerah-daerah tersebut.

Terdapat kecenderungan bahwa nilai kekerasan di daerah-daerah tersebut akan seragam seiring dengan peningkatan waktu tahan. Nilai kekerasan di daerah-daerah tersebut selanjutnya mempengaruhi kuat tarik, keuletan, ketangguhan dan karakteristik perpatahan dari material baja karbon A106.

5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada pihak perusahaan PT. Prime Petroservice yang telah menyuplai sampel pipa baja karbon ASTM A106 (Seamless pipe) yang telah dilas dengan metode pengelasan SMAW.

Daftar Pustaka

- [1] ASTM. A106-99, 1999, *Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service*.
- [2] Ahmed, K., Krishnan, J., 2002, Post-Weld Heat Treatment-Case Studies, *BARC Newsletter*, Available at: <http://barc.gov.in/publications/nl/2003/200310-17.pdf>, diakses 24 September 2013
- [3] ASME, 2000, *Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators*, Sec. IX, American Society of Mechanical Engineering, New York.
- [4] ASM Handbook, 1991, *Heat Treating*, Vol. 4, American Soeciety for Metal, International.
- [5] ASM Handbook, 1993, *Welding, Brazing, and Soldering*, Vol.6, American Soeciety for Metal, Ohio.
- [6] Funderburk, R.S., 1998, *Welding Innovation*, Vol. XV, Key Concepts in Welding Engineering.
- [7] Callister Jr., W. D., 2001, *Fundamentals of Material Science and Engineering*, Edisi ke-4, Erlangga, Jakarta
- [8] Suparman, 2003, Pengaruh Suhu Annealing Pada Post Weld Heat Treatment Pengelasan Baja Bohler Grade K-945 Ems 45 terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis, Unnes, pp. 1-38.
- [9] Welding Handbook, 1976, *Fundamental of Welding*, Vol. 1, American Welding Soeciety, Miami.
- [10] Wiryosumarto, H. & Okamura, T., 2000, *Teknologi Pengelasan Logam*. PT. Pradya Paramita, Jakarta.
- [11] Wirarchi, P. D., 2007, Analisa Pengaruh Multiple Repair Welding Pada Material Properties Weld Joint Material Pipa ASTM A106 Gr.B Sch 80, *Tugas Akhir Teknik Mesin*, ITS, Surabaya.