

EVALUASI *WELDABILITY* DAN TEMPERATUR TRANSFORMASI C-Mn STEEL PRODUK LOKAL SEBAGAI BAHAN BAKU BAJA TAHAN AUS

Padang Yanuar^{1*} dan Yurianto²

¹Jurusan Teknik Sekolah Tinggi Maritim dan Transpor STIMART “AMNI” Semarang
Jl. Soekarno-Hatta No. 180, Semarang 50199.

²Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto, SH, Tembalang Semarang

*Email: padang_yanuar@yahoo.co.id

Abstrak

Baja C-Mn adalah baja hasil proses perlakuan panas yang dapat dikembangkan menjadi baja tahan aus dengan proses quenching dan tempering. Permasalahan yang mendasari dalam penelitian ini adalah: Apa perubahan yang terjadi pada baja C-Mn setelah dilakukan proses quenching dan tempering?. Tujuan dalam penelitian ini adalah evaluasi mampu las dan transformasi martensite temperature pada baja C-Mn. Metode yang dilakukan dengan melakukan uji komposisi kimia dengan specimen uji ukuran 20mm x 20mm menggunakan alat spectrometer. Sifat mampu las yang diperoleh dengan menggunakan titik koordinat nilai karbon equivalent pada graville diagram. Transformasi dan temperature martensite diperoleh berdasarkan unsur-unsur kimia yang ada pada baja. Dalam penelitian ini didapatkan bahwa baja C-Mn pada keadaan normal memiliki sifat mampu las yang kurang baik dalam hal ini didapatkan nilai CE= 0,748%, dengan nilai CE tersebut lasan sangat rentan sekali terhadap retak panas (ditandai dengan UCS=57%), dibutuhkan preheat dan postweld. Transformasi martensite start pada temperature 357°C dan berakhir pada suhu (92-175)°C. dan nilai kekerasannya maksimumnya adalah 519 VHN.

Kata kunci: komposisi kimia, mampu las, temperatur transformasi, austenite, tempering.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan baja lokal harus banyak digunakan pada proyek strategis, agar industri lokal dapat terus bertahan. Saat ini baja tangguh dan tahan aus nasional sudah dapat diproduksi secara domestik, penggunaan baja ini banyak digunakan untuk pembuatan alat-alat berat dan konstruksi. Mengingat potensi yang ada di Indonesia, tanpa disadari bahwa baja hasil buatan lokal mempunyai kesempatan besar untuk bisa dikembangkan lanjut menjadi baja yang bisa bersaing dipasar internasional. Salah satu jenis baja buatan lokal yang mempunyai sifat khas adalah *C-Mn Steel*, baja ini diharapkan bisa mencapai keliatan (*ductility*) dan ketangguhan tinggi dengan perlakuan panas lanjut yang menghasilkan *Quenched & Temper Steel* (contoh penggunaan *Quenched & Tempered Steels* buatan lokal ditunjukkan dalam Gambar 1).

Dalam penelitian ini permasalahan yang akan dirumuskan adalah “bagaimanakah sifat kemampuan las *C-Mn Steel* (termasuk *Q&T Steel*)”.

Tujuan penelitian adalah mengevaluasi sifat mampu las, struktur mikro dan kekerasan *C-Mn Steel* sebelum dan sesudah proses *Quench & Temper*.

Secara umum baja paduan dengan kandungan karbon lebih dari 0,20% dianggap *heat treatable steels*, untuk mendapatkan peningkatan kekuatan baja ini dilakukan *quenching*. Karbon merupakan unsur utama penguat semua baja. Sifat mampu las turun dengan meningkatnya karbon. Baja dengan karbon (0,1 - 0,3)% biasanya dapat dilas tanpa *preheating*, *postheating*, atau elektroda khusus (Yurianto dkk., 2015). Bertambahnya karbon dalam baja dengan karbon $\leq 0,3\%$ meningkatkan temperatur *eutectoid* (Eavorlino, dkk 1996). Jumlah karbon yang lebih tinggi didalam logam dasar akan meningkatkan kepekaan terhadap retak *hydrogen* (*hydrogen cracking*) dalam daerah yang terpengaruh panas, untuk memperkecil kemungkinan terjadinya retak *hydrogen* diterapkan perlakuan panas pasca pengelasan sebelum lasan dingin dibawah *preheat/ inter-pass temperature*, ASM Handbook Volume 6 (1996).



Gambar 1. Excavator (PT.Pindad)

Weldability Adalah kesanggupan bahan untuk dilas tanpa meninggalkan cacat atau retak, ASM handbook volume 6 (1996). Faktor utama mampu las adalah komposisi, *input* panas dan laju pendinginan. Mampu las sering dikaitkan dengan nilai karbon *equivalent* (*CE*) melalui unsur yang terkandung dalam baja, dan dinyatakan dengan menggunakan rumus empiris sebagai berikut (Datta dkk., 2002).

$$CE = C + \frac{(M_n + S_i)}{6} + \frac{(C_r + M_o + V)}{5} + \frac{(N_i + C_u)}{15} \quad (1)$$

Dari hubungan antara karbon *equivalent* dan karbon diketahui mampu las baja. *Graville* mengelompokkan mampu las baja dalam tiga wilayah, (*zone*), yaitu: (Gambar 2)

Parameter pengelasan baja seperti: *preheat*, temperatur *heat input*, *weld joint design* dan jenis elektroda dipilih secara hati-hati untuk menghindari kegagalan dan cacat las.

Retak panas adalah retak yang terjadi oleh penolakan lelehan rendah konstituen disepanjang garis tengah lasan yang teregang (retak pembekuan). Nilai Rentan retak panas ditentukan dengan persamaan berikut, ASM handbook volume 6 (1996).

$$UCS = 230 C + 190 S + 75 P + 45 Nb - 12.3 Si - 5.4 Mn - 1 \quad (2)$$

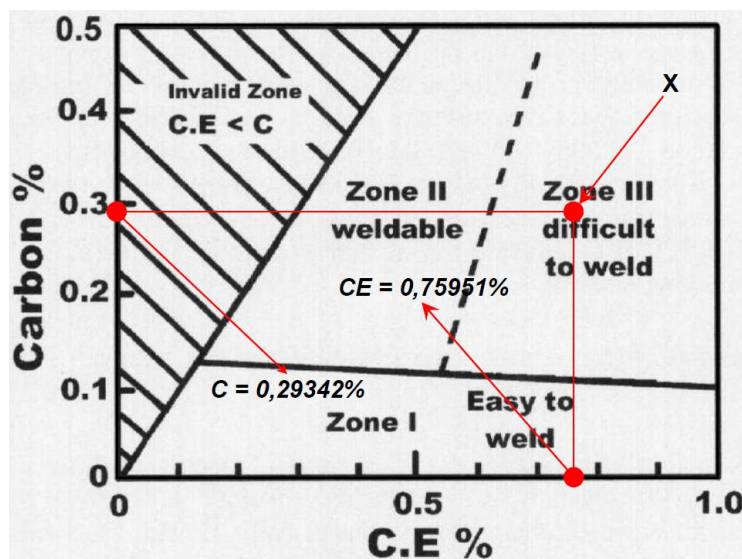
Jika $UCS < 10$, maka kerentanan retak rendah. Jika $UCS > 30$, kerentanan retak tinggi. Jika UCS 10 - 30, perlu mengatur prosedur pengelasan.

Preheat dan *Postheats* perlu tidaknya *preheat* atau *postheat*, ditentukan nilai karbon *equivalent* ($CE_{P\&P}$) yaitu, ASM handbook volume 6 (1996).

$$CE_{P\&P} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Si + \%Ni + \%Cu}{15} \quad (3)$$

Untuk meminimalkan kerentanan retak *hydrogen* adalah $CE > 0,35\%$ dianjurkan *preheats*. Pada CE lebih tinggi, perlu *preheat* dan *postheats*. Meningkatkan CE , selama pendinginan struktur

mikro berkembang pada rentang temperatur transformasi dan semakin rentan pada *HIC*. Struktur martensite bisa diharapkan pada *CE* tinggi.



Gambar 2.Perkiraan mampu las baja menggunakan Diagram Graville, titik X merupakan koordinat (CE,C).Zona I = Baja mudah dilas (easy to weld).Zona II= Baja bisa dilas (weldable).Zona III = Baja sulit dilas (difficult to weld).

Temperatur transformasi Adalah temperatur *austenite* ke *ferrite* dan dinyatakan dengan persamaan, Sampath (2007)

$$A_{r3} (^{\circ}C) \sim 910 - (310C) - (80Mn) - (80Mo) - (55Ni) - (20Cu) - (15Cr) \quad (4)$$

Temperatur Martensite Temperatur mulai dan akhir martensite terbentuk, *masing-masing* adalah M_s dan M_F ditentukan dari unsur kimia dengan hubungan empiris berikut, Sampath (2007) & Messler dan Robert (1999).

$$M_s (^{\circ}C) = 561 - 474C - 33Mn - 17Ni - 17Cr - 21Mo \quad (5)$$

Sementara,

$$M_F = 175 ^{\circ}C - 265 ^{\circ}C \text{ dibawah } M_s$$

Baja dengan karbon hingga 0,6%, *martensite* berbentuk bilah dan disebut *lath martensite*, untuk baja karbon lebih besar dari 1% disebut *plate martensite*.

Temperatur *temper* dipilih berdasarkan M_F sehingga tidak banyak *martensite* yang hilang (kekerasan menurun) tetapi hanya mereduksi tegangan dalam (*internal stress*).

2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *C-Mn Steel* dengan ketebalan 10 mm. Tahapan pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan benda uji ukuran 20 mm x 20 mm, kemudian dilakukan uji unsur kimia yang terkandung dalam *C-Mn Steel* dengan menggunakan *spectrometer*.
2. Perlakuan panas *quench* dilanjutkan *temper*
3. Pembuatan benda uji ukuran 5 mm x 5 mm. Kemudian di mounting, dipoles dan di etsa dengan *picric acid*, dilanjutkan observasi struktur mikro dan kekerasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil observasi unsur utama, struktur mikro dan kekerasan, masing-masing ditunjukkan dalam Tabel 1, Tabel 2 dan Gambar 3.

3.1 Pengaruh Unsur Kimia Pada Baja

Unsur kimia pada baja dapat digunakan sebagai pemetaan masuk kedalam golongan manakah baja C-Mn produk lokal ini. Unsur kimia baja C-Mn dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel 1 Unsur kimia *C-Mn Steels*

Unsur	C	Cr	Mn	Mo	Ni	P	S	Si
%	0,293	0,55	1,41	0,193	0,278	0,014	0,008	0,329

Dengan melihat unsur-unsur kimia yang terkandung diatas baja tersebut dapat digolongkan kedalam baja paduan rendah, dan jika ditinjau dari kandungan karbon sebesar 0,293% tergolong baja karbon menengah (Bailey, 1994).

Kandungan karbon meningkat, maka semakin banyak kandungan ferrite yang cepat meningkatkan konsentrasi karbon pada batas butir hingga ketengah butiran dengan cara menurunkan *undercooling*, dan ini membuat pengintian lebih sulit. Karbon semakin banyak, konsentrasi karbon ketika *quench* menghasilkan struktur martensite yang lebih banyak. *Heat treable steel* setelah *quench* menjadi keras karena struktur martensite, sehingga baja mempunyai kekuatan dan kekerasan tinggi dan agak rapuh. *Chromium 0,55%, C-Mn Steel* kandungan chromium menyebabkan baja tahan terhadap korosi dan oksidasi, dan menyebabkan baja menjadi keras dan tahan terhadap kekuatan pada temperatur tinggi. *Manganese 1,41%, C-Mn Steel* Meningkatkan kemampu kekerasan dari baja, tergolong baja manganese dan keliatan relatif rendah, Bailey (1994). *Molybdenum 0,193%, C-Mn Steel* tergolong yang tahan terhadap temper *embrittlement* dan tahan terhadap temperatur tinggi, dapat meningkatkan kekerasan dengan proses *tempering* disekitar 500°C. Nickel 0,278% menurunkan tingkat pendinginan kritis dan tidak membentuk senyawa karbida apapun dalam baja, tetap larut dalam ferrite, sehingga memperkuat dan meningkatkan ketangguhan fase ferrite. *Phosphorus 0,014%, C-Mn Steel* merupakan baja yang mampu mesin, karena bisa dilakukan pemesinan dengan baik. *Silicon 0,329%* dalam baja karbon rendah, biasanya silicon mengurangi mutu permukaan dan kondisi ini akan lebih serius dalam low-karbon resulfurized grades (ASM, 1996).

3.2 Pengaruh unsur kimia pada *weldability*

Pengaruh unsur karbon dalam baja akan menurunkan sifat mampu las, maka titik (CE,C) diagram *Graville* bergeser ke zona baja yang sulit dilas (bahkan tidak bisa dilas) Karbon *equivalent* dihitung dengan persamaan (1), diperoleh CE = 0,748%. Maka koordinat titik (CE,C) adalah (0,748, 0,293) dan berdasarkan Diagram *Graville* terletak pada zona III. Artinya bahwa *C-Mn Steel* merupakan baja yang sulit dilakukan pengelasan. Selain itu, dari persamaan karbon *equivalent* nampak bahwa karbon dan *manganese* merupakan unsur yang kuat menyebabkan karbon *equivalent* meningkat atau menurun, ditunjukkan pada gambar 2.

C-Mn Steel mengandung *phosporus* 0,014% (kurang dari 0,30%) sedikit mempengaruhi mampu las baja karbon rendah, maka perlu pengelasan arus rendah.

Sulphur dalam jumlah hingga 0,035% tidak memiliki pengaruh merugikan pada *weldability*. Namun bisa terjadi pemisahan *band*, retak dan lasan berpori (Yurianto dkk.,2015). Mampu las menurun dengan meningkatnya kandungan *sulphur*, ASM Handbook Volume 6 (1996) Sehingga dalam pengelasan harus dipertimbangkan dalam memilih elektroda yang mengandung *sulphur*, karena apapun *sulphur* sudah diambang batas (Yurianto dkk., 2015).

Silicon membantu menguatkan baja karbon rendah (0,5%-0,35%), hubungannya dengan kadar *manganese* normal, biasanya membantu dalam menghasilkan kekuatan las. *Silicon* 0,35% ada kecenderungan kuat terhadap lobang permukaan, terutama ketika menggunakan elektroda E-6010 dan elektroda E-6011.

Meningkatnya *manganese* mengakibatkan mampu las dan keliatan bahan akan menurun, tetapi pada tingkatan lebih rendah dari pada karbon (Yurianto dkk.,2015).

3.3 Pengaruh Unsur Kimia pada Keretakan

Retak pada hasil pengelasan sangat mungkin terjadi, ada dua jenis retakan yang terjadi yaitu retak panas dan retak dingin. Kerentanan retak panas berdasarkan unsur yang terkandung dalam las (persamaan 2) diperoleh $UCS = 57,411423\%$ karena nilai $UCS > 30$, maka *C-Mn Steel* mempunyai kerentanan terhadap retak panas yang tinggi. Retak panas terjadi pada saat proses pembekuan, Retak tegangan dan kerentanan mikrostruktur, terjadi pada batas butir oleh senyawa titik cair rendah seperti *silicon*, *nikelsulphur* dan *phosphorus*. Perlu tidaknya *preheat* dan *postheat* dalam pengelasan bisa menggunakan persamaan (3), hasilnya $CE = 0,72652\%$ (karena $> 0,35\%$) maka sebelum pengelasan *C-Mn Steel* dianjurkan dilakukan *preheat* dan *postheat*, agar resiko keretakan terinduksi *hydrogen* (*hydrogen induced cracking - HIC*) lebih rendah. Karbon *equivalent* berkaitan dengan berkembangnya kepekaan struktur mikro terhadap *hydrogen*, artinya dengan meningkatnya karbon *equivalent* (dalam hal ini adalah karbon) maka struktur mikro yang berkembang selama pendinginan melalui rentang temperatur transformasi semakin lebih rentan terhadap retak yang terinduksi *hydrogen* (*hydrogen induced cracking*). Struktur *martensite* bisa diharapkan pada baja dengan karbon *equivalent* tinggi, sementara unsur yang berpengaruh pada peningkatan dan penurunan karbon *equivalent* adalah unsur karbon (Datta dkk., 2002).

3.4 Pengaruh Unsur Kimia Pada Temperatur Austenisasi

Perlakuan panas diberikan pada baja untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan. Perlakuan panas diawali dengan proses austenisasi (pemanasan hingga temperatur *austenite*) yang kemudian disusul pendinginan dengan beragam kecepatan pendinginannya, yang akan menghasilkan fasa akhir yang terbentuk berbeda-beda. Garis transformasi *austenite* ke *ferrite* dinyatakan dengan persamaan 4, dan diperoleh temperatur austenisasi $Ar_3 = 665\text{ }^\circ\text{C}$ pada karbon yang terkandung dalam *C-Mn Steel* jadi rentang austenisasi haruslah diatas temperatur $665\text{ }^\circ\text{C}$, dalam penelitian ini dipilih temperatur $900\text{ }^\circ\text{C}$.

3.5 Pengaruh Unsur Kimia Pada Temperature *Martensite*

Baja karbon yang dipanaskan sampai pada suhu *austenite* kemudian didinginkan secara cepat akan terbentuk struktur *martensite* yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari struktur *perlit* maupun *ferit*, *martensite* merupakan struktur mikro yang paling keras dan kuat tetapi getas. Kekerasannya tergantung pada kandungan karbon yang ada pada paduan tersebut.

Temperatur *martensite start* dan finish baja paduan karbon menengah dihitung dengan persamaan (5) dan diperoleh $M_s = 357\text{ }^\circ\text{C}$. dan berakhir pada temperatur $M_F = 92\text{ }^\circ\text{C} - 182\text{ }^\circ\text{C}$. *Martensite* dalam baja bisa menjadikan baja sangat kuat dan agak rapuh maka perlu memodifikasi sifat mekaniknya yaitu dengan *tempering*. Temperatur *tempering* dipilih sedemikian sehingga tidak mengakibatkan banyak struktur *martensite* hilang karena temperatur *tempering*, maka dalam penelitian ini dipilih temperatur *temper* adalah $150\text{ }^\circ\text{C}$. Pada temperatur ini, tegangan sisa akibat proses *quenching* berkurang.

3.6 Pengaruh *Quenching* dan *Tempering* Terhadap Nilai Kekerasan

Hasil akhir *quenching* adalah baja keras dengan struktur utama *martensite*. Mengingat baja mengandung unsur lain (selain karbon), maka pembentukan struktur *martensite* akan dipengaruhi oleh unsur yang terkandung. Baja C-Mn hasil proses *quenching* mengalami kenaikan nilai kekerasannya, dengan rata-rata nilai kekerasannya adalah 550 VHN meningkat 2 kali dari nilai kekerasan sebelum proses *quenching* (lihat Tabel 2).

Tabel 2 Kekerasan Vicker's

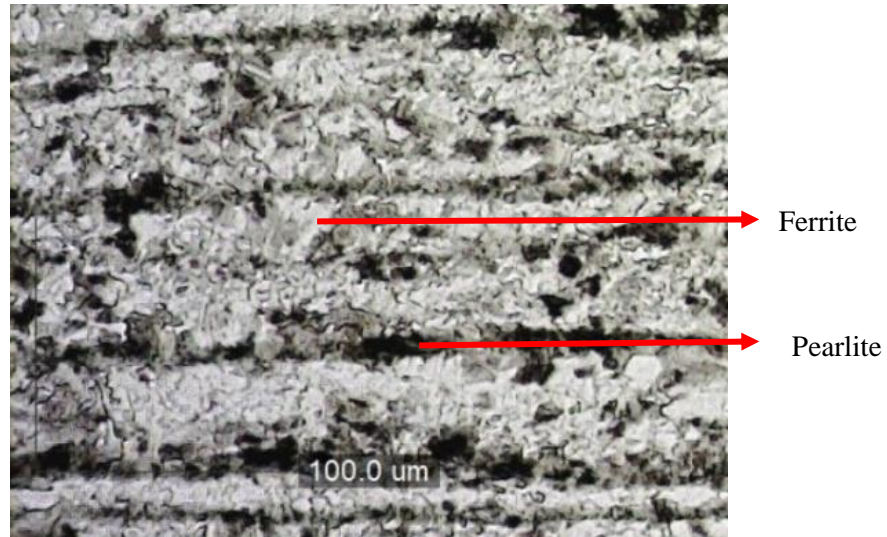
VHN	C-Mn Steel	$Q_{C-Mn Steel}$	$Q\&T_{C-Mn Steel}$
V ₁	249	551	515
V ₂	278	561	512
V ₃	299	547	517
V ₄	275	542	533
V _r	275	550	519

$Q_{C-Mn Steel}$ = baja hasil proses *quenching*

$Q\&T_{C-Mn Steel}$ = baja hasil proses *quenching* dilanjutkan *tempering*

Pengaruh unsur seperti *Manganese, nickel, chromium* dan *vanadium* yang semakin besar jumlahnya akan menurunkan temperatur M_s . Artinya proses pembentukan struktur *martensite* dimulai pada *temperatur* yang semakin rendah. Sehingga jika pembentukan struktur *martensite* dalam rentang temperatur *martensite* yang singkat (dihitung dari temperatur M_s dan M_f) maka jumlah struktur *martensite* yang terbentuk menjadi sedikit, akibatnya kekerasan baja tidak maksimal. Oleh karena itu dengan mempertimbangkan sifat mampu keras, keempat unsur tersebut menjadi pertimbangan yang sangat penting.

3.6 Pengaruh *Quenching* dan *Tempering* pada Struktur Mikro

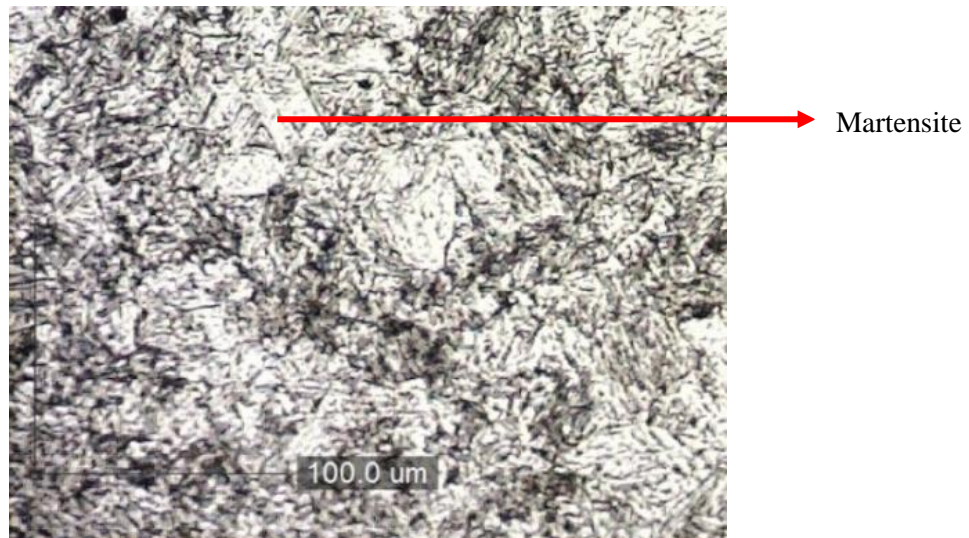


Gambar 3. Struktur Mikro C-Mn Steel

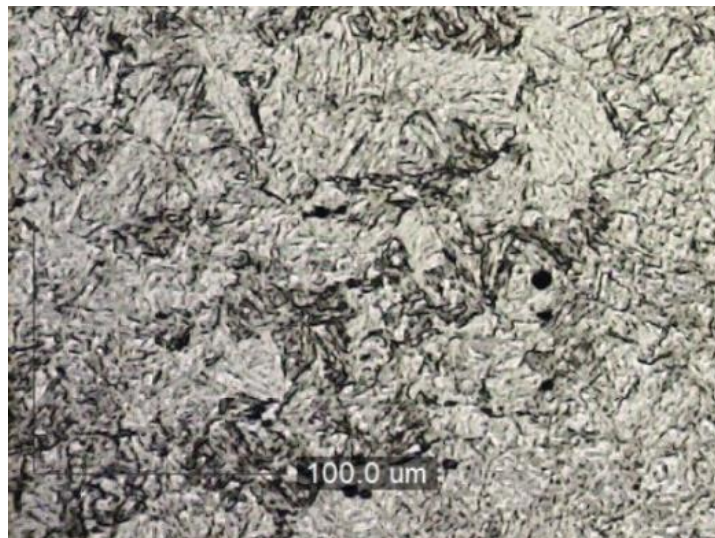
Struktur mikro C-MN Steel memiliki bentuk pipih memanjang, hal ini disebabkan oleh tekanan *roller* pada kondisi panas, tekanan *roller* pada baja menjadikan padat dan meningkatkan kekerasan. Nampak struktur mikro berwarna terang (*ferrite*) dan struktur berwarna gelap (*pearlite*), dan kekerasan rata-rata adalah 275 VHN.

Pada gambar 4 menunjukkan struktur mikro C-Mn steel hasil proses *quenching*, Setelah *quenching* nampak struktur mikro berbentuk serpihan tajam dan nampak kasar, dan disebut struktur *martensite*, Struktur ini menyebabkan baja menjadi keras (baja menjadi getas atau *brittle*), kuat namun masih nampak struktur *ferrite* dan struktur *pearlite*. Waktu terbentuknya struktur *martensite* yang relatif pendek mengakibatkan struktur *martensite* yang dihasilkan kurang, jika dihubungkan dengan unsur kimia karbon yang terkandung sebesar 0,29% berpengaruh terhadap bentuk struktur mikro *martensite* pada kandungan sebesar tersebut terbentuk *martensite* dengan model bilah (*lath*) dan memiliki nilai kekerasan rata-rata adalah 550 VHN.

Pada gambar 5 menunjukkan hasil struktur mikro hasil proses *quenching* dilanjutkan *tempering*, struktur mikro masih berbentuk serpihan tajam *martensite* dan nampak kasar, struktur mikro sebelum dan sesudah *temper* nampak mirip. Struktur nampak *ferrite* dan struktur *pearlite*, dan kekerasan rata-rata turun menjadi 519 VHN. Penurunan kekerasan karena sebagian *martensite* terdifusi selama proses *tempering*. Selain proses *temper* menyebabkan baja menjadi lebih liat (*ductile*) dan mengakibatkan tahan terhadap retak. Hasil akhir *quench* dan *temper* terhadap C-Mn Steel adalah *Quenched & Tempered C-Mn Steel* atau *Q&T Steel*.



Gambar 4. Quenched C-Mn Steel .



Gambar 5 Struktur mikro *Quenched & Tempered* C-Mn Steel

KESIMPULAN

Hasil observasi unsur kimia, struktur mikro dan kekerasan *C-Mn Steel* sebelum dan sesudah *quench & temper* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan uji komposisi kimia didapatkan kandungan karbon = (0,25 - 0,45)%, *manganese* = (1 - 1,7)% dan *silicon* \leq 0,5%, maka *C-Mn Steel* jika ditinjau dari unsur karbonnya termasuk baja karbon menengah dan karbon-*manganese* (*medium karbon and karbon-manganese steels*) dan mempunyai kerentanan retak panas tinggi.
2. Berdasarkan perhitungan nilai CE sebesar 0,748% maka *C-Mn Steel* (termasuk *Quenched & Tempered Steel*) termasuk pada zona III yang termasuk baja yang sulit dilakukan pengelasan sehingga perlu *preheat* dan *post heat*.
3. Nilai kekerasan mengalami peningkatan setelah dilakukan proses *Quenched & Tempered*, dari perhitungan nilai A_{r3} didapatkan temperatur austenisasi 665 °C, maka dalam penelitian ini dipilih 900 °C (diatas nilai A_{r3}) proses *quenching* dengan media pendingin air dan diikuti dengan *tempering* pada temperatur *temper* 150 °C, kekerasan rata-rata yang bisa dicapai adalah 519 VHN.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook, Volume 6, (1996), *Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*, hal 246-247.
- Bailey, N., (1994), *Weldability of ferritic steels*, Abington Publishing, Abington Hall. Abington. Cambridge, hal 140 – 144.
- Bhadesia, H., Robert, H., (2006), *Steels (Microstructure and Properties)*, 3rd edition, Elsevier, Ltd. Oxford.
- Datta, R., Mukerjee, D., Jha, S., Narasimhan, K., Veeraraghavan, R., 2002, *Weldability Characteristics of Shielded Metal Arc Welded High Strength Quenched and Tempered Plates*, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 11 (1): 5 – 10.
- Earvolino, L.P., Sprung, I., Hanschka, R.M., (1986), *The Effect of Karbon Content on the Need to Postweld Heat Treat Low-Alloy Steel Castings*, Welding Journal, Volume 65(5), 41- 46.
- Luxenburger, G., Bockelmann, M., Wolf, P., Hanus, F., Cawelius, R., Buchholz, J., (2004), *High strength quenched and tempered (Q+T) steels for pressure vessels*, International Journal of Pressure Vessels and Piping 81, pp. 159 – 171.
- Messler, Jr., Robert, W., (1999), *Principles of Welding (Process, Physics, Chemistry, and Metallurgy)*, Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co. KGaA.
- PT. Pindad (Persero) Bandung, Jawa Barat, Indonesia.
- Sampath, K., (2007), *How to Choose Electrodes for Joining High-Strength Steels*, Welding Journal, hal 26 – 28.
- Yurianto, Pratikto, Soenoko, R., dan Wahyono., (2015), *Sifat Mampu Las Hot Rolled Plate Steel*, Prosiding Seminar Sains dan Teknologi