

PENGARUH KECEPATAN GERAK TORCH PEMANAS PADA PROSES AUTOMATIC FLAME HARDENING TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK BAJA KARBON MEDIUM

Andi Purwanto¹, Teguh Triyono¹, Sukmaji Indro Cahyono¹

¹Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

e-mail addresses : andi.purwanto486@gmail.com (Andi Purwanto), teguh.triyono@yahoo.com (Teguh Triyono), sukmaji@ft.uns.ac.id (Sukmaji Indro Cahyono)

Keywords :

Automatic flame hardening, heat treatment, carbon steel, micro vickers.

Abstract :

Steel material was widely used and obtained in the industry and automotive application. The hardness of the surface area and the ductile of the core were produced by using heat treatment, in this case, automatic flame hardening method was used. The heat treatment process was done in order to increase the surface temperature by using a carburizing flame and then the cooling process by using water cooling medium continuously followed. The aim of this research was to identify the effect the heating torch velocity on the surface hardness and the tensile strength of the medium carbon steel using the automatic flame hardening process. Some variations were used in this research were heating torch velocities at 10 mm/min, 20 mm/min, 30 mm/min, and 40 mm/min. The results shows that the heating torch velocity at speed 10 mm/min was the most optimal parameter. The maximum hardness of the surface area is reached 398.9 VHN, while the highest tensile strength was 647.3 MPa and the perlite-ferrite phase was also formed. By these results, the hard properties on the surface area and the ductile properties in the middle area of the specimen could be obtained.

PENDAHULUAN

Baja merupakan material yang banyak digunakan dalam bidang industri, karena mudah didapat di pasaran. Baja mempunyai jenis dan sifat yang berbeda-beda, penggunaannya harus sesuai dengan kebutuhan yang akan digunakan. Baja mempunyai mampu bentuk yang cukup baik, sehingga dapat diaplikasikan pada berbagai bidang teknik. Sebagian komponen mesin mempunyai permasalahan bukan hanya tentang sifat keuletan, tetapi juga dalam sifat kelelahan yang disebabkan oleh keausan permukaan yang disebabkan oleh gesekan secara terus menerus. Dari permasalahan tersebut dibutuhkan suatu perlakuan agar mendapatkan material yang lebih keras dari pada material yang telah digunakan sebelumnya.

Metode yang digunakan untuk mengatasi permasalahan di atas dapat berupa pengerasan permukaan, salah satunya yaitu metode *flame hardening*. [1] menjelaskan bahwa metode *flame hardening* merupakan metode pengerasan permukaan yang dilakukan dengan memanaskan permukaan suatu material secara cepat hingga mencapai temperatur puncak hingga terjadi fasa austenit, kemudian di *quenching* untuk mengubah struktur austenit menjadi martensit yang memiliki sifat keras.

Dari hasil penelitian yang dilakukan [7] proses *flame hardening* meningkatkan kekerasan baja 12Cr (nilai kekerasan awal 250 HV) hingga 420-550 HV.

Proses *manual flame hardening* berpengaruh pada baja tempa, seperti yang dilakukan oleh [8] pengujian kekerasan spesimen dengan kombinasi perlakuan

Annealing, tempa dan manual *flame hardening* (ANTF) diperoleh nilai kekerasan tertinggi yaitu 865,8 HVN dan pada pengamatan struktur mikro spesimen dengan kombinasi perlakuan yang sama (ANTF) terbentuk struktur martensit dan ferrit. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Danang (2009) menunjukkan bahwa pengerasan permukaan dapat terbentuk dengan baik pada spesimen dengan kecepatan *torch* 28 mm/menit dan menggunakan nyala api karburasi. Nilai kekerasan permukaan mencapai 879,10 HV dan bagian bawah spesimen kekerasannya 232,80 HV, kedalaman pengerasannya mencapai 1,4 mm dari permukaan. Sifat yang dihasilkan pada spesimen adalah bersifat keras di permukaan, tetapi pada bagian tengah dan bawah spesimen tetap lunak. Hasil penelitian yang dilakukan oleh [2] menunjukkan bahwa spesimen dengan variasi jarak *torch* pemanas dengan *nozzle* pendingin 60 mm, serta variasi laju aliran air pendingin 2400 cc/menit memiliki kekerasan permukaan yang tinggi dan kedalaman pengerasannya lebih dalam. Nilai kekerasan yang optimal diperoleh dari spesimen dengan variasi jarak dan laju aliran air pendingin 60/2400, kekerasannya 962,17 HV dan kedalaman pengerasannya 4,7 mm. [7] menjelaskan bahwa pengerasan permukaan adalah proses perlakuan panas permukaan dengan menggunakan nyala api yang berasal dari campuran gas oksigen dan asetilen. Dengan pemanasan pada suhu yang tinggi/rekristalisasi dan diberikan pendinginan secara cepat, menyebabkan kenaikan kekerasan pada permukaan. Hal ini dipengaruhi oleh suhu permukaan,

jarak spesimen dengan *torch* pemanas, dan waktu pendinginan. Parameter yang paling optimal yaitu pada suhu 850°C, jarak spesimen dengan *torch* pemanas 30 mm, dan waktu pendinginan 25 detik. Dengan parameter optimal tersebut menghasilkan kekerasan maksimum 801 HV. [5] meneliti tentang pengaruh pengerasan induksi secara berkelanjutan dengan membandingkan material baja AISI 1045 dan 5140. Parameter yang digunakan yaitu dengan frekuensi 30 Hz, daya 50 kW, serta variasi kecepatan induktor sebesar 10 mm/s dan 20 mm/s. Baja dipanaskan hingga suhu 850°C selama 30 menit, kemudian didinginkan di udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fasa martensit hanya ditemukan pada baja AISI 5140, sedangkan baja AISI 1045 ditemukan fasa martensit dan perlit. Dengan pengerasan induksi secara berkelanjutan cocok menggunakan kecepatan rendah, karena dapat memperbaiki mekanikal properti dari kedua material. Penelitian yang dilakukan oleh Retno (2016) tentang pengaruh kecepatan gerak *torch* pemanas pada proses *flame hardening* menunjukkan hasil kekerasan sebesar 449 VHN pada kecepatan 10 mm/menit. Laju keausan terendah sebesar $5,05 \times 10^{-6}$ mm³/s dan kekuatan impact tertinggi sebesar 0,787 J/mm².

Pengerasan nyala atau *flame hardening* adalah pemanasan yang disusul dengan pendinginan pada permukaan. Pemanasan dilakukan dengan nyala oksiasetilen yang dibiarkan memanasi permukaan logam sampai mencapai suhu kritis. Pada alat *flame hardening* terdapat *torch* pemanas dan *nozzle* pendingin, sehingga bila tercapai suhu yang diinginkan maka langsung disemprot dengan air dari *nozzle* pendingin. Tebal lapisan yang keras tergantung pada waktu pemanasan dan suhu nyala. Proses *flame hardening* menghasilkan permukaan yang keras dengan inti yang ulet [1]. Proses *flame hardening* dilakukan secara otomatis menggunakan alat yang sudah disiapkan. Nyala api *flame hardening* dihasilkan dari campuran antara gas oksigen dan asetilen yang diatur pada *torch* pemanas, kemudian spesimen dipanaskan dengan nyala api dari *torch* pemanas yang bergerak horizontal dengan variasi kecepatan, sedangkan jarak *torch* pemanas dengan spesimen dan jarak *torch* dengan *nozzle* pendingin sudah ditentukan. Keuntungan dari proses *flame hardening* yaitu biaya produksi yang relatif murah, *selective hardening*, prosesnya sederhana dan mudah, serta tidak membutuhkan persyaratan kerja yang ketat [8]. Penelitian ini dilakukan untuk mencari parameter yang optimal dari proses *flame hardening* pada material baja karbon medium untuk mendapatkan hasil yang terbaik.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan

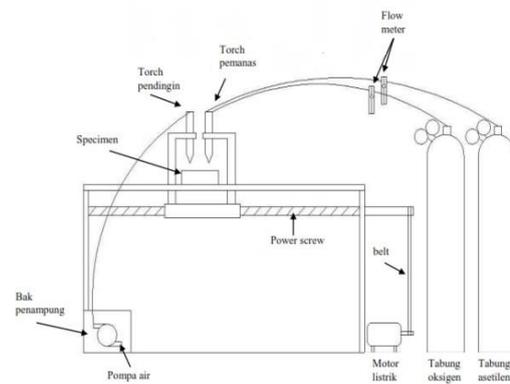
Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu material baja karbon medium dengan kadar karbon sebesar 0,505%.

Tabel 1. Komposisi unsur-unsur kimia *raw material*.

Fe	C	Si	Mn	P	S	Mo	Al
98.4	0.505	0.294	0.569	0.017	0.008	0.026	0.007

Fabrikasi

Proses *flame hardening* dilakukan secara otomatis menggunakan alat *automatic flame hardening* seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Permukaan spesimen dipanaskan menggunakan las gas oksiasetilen dengan nyala api karburasi, kemudian didinginkan menggunakan media air dengan debit aliran 1200cc/menit yang bergerak secara otomatis menggunakan motor listrik. Jarak *torch* pemanas dengan spesimen sebesar 30 mm, jarak *torch* pemanas dengan *nozzle* pendingin 60 mm. Variasi kecepatan yang digunakan 10, 20, 30, 40 mm/menit yang diatur menggunakan alat inverter.



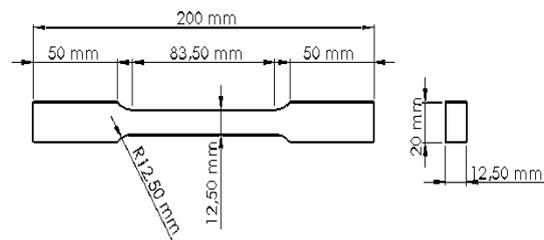
Gambar 1. Skema *automatic flame hardening* [2]

Pengujian

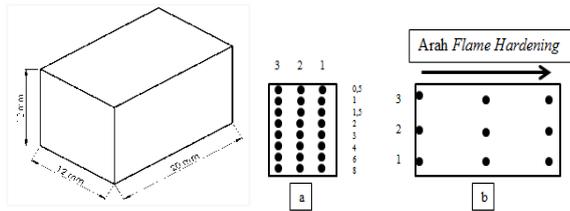
Dalam tahap pengujian ini dilakukan uji tarik, uji keras mikro Vickers, dan pengujian struktur mikro pada spesimen yang telah dilakukan proses *flame hardening*. Pengujian tarik dilakukan menggunakan alat UTM untuk mengetahui kekuatan tarik, elongasi, dan ketangguhan material. Spesimen dibuat sesuai dimensi ukuran dan bentuk sesuai standar [3], seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Spesimen uji tarik

Uji keras Vickers mempunyai dimensi ukuran



dan bentuk spesimen uji berbentuk balok dengan ukuran panjang 20 mm, lebar 12 mm, tinggi 12 mm. Uji keras Vickers menggunakan metode mikro Vickers, berat pembebanan sebesar 200 gf dengan indenter berupa piramida intan dan lama pembebanan ±10 detik. Titik pembebanan indenter ditunjukkan pada Gambar 3.



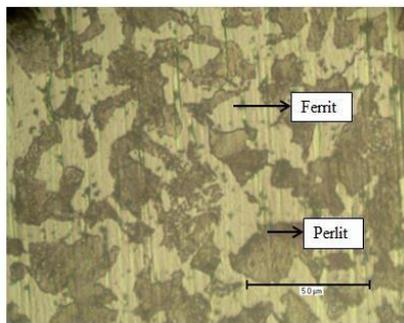
Gambar 3. Titik pembebanan indentor

(a) Tampak samping kiri, (b) Tampak atas
 Pengujian struktur mikro dilakukan dengan persiapan spesimen terlebih dahulu. Permukaan spesimen yang akan diamati diampelas sampai halus dan diberi autosol sampai mengkilap. Setelah permukaan benar-benar bersih, spesimen dietsa menggunakan keller reagen nital 2 % yang bertujuan untuk mengkorosi/pengikisan batas butir secara selektif supaya struktur yang diamati terlihat jelas. Kemudian spesimen diletakkan dibawah lensa obyektif mikroskop, pengamatan dilakukan dengan lensa obyektif perbesaran 20x. Fokuskan jarak antara lensa obyektif dengan permukaan spesimen, lalu membuat sketsa hasil pengamatan dari setiap spesimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

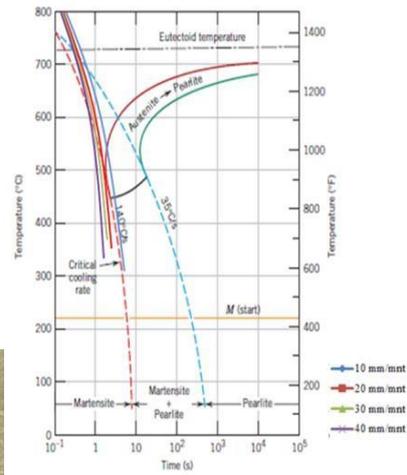
Pengaruh Kecepatan Torch Terhadap Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui fasa yang terjadi pada spesimen uji akibat dari perlakuan *flame hardening*. Pada Gambar 4 terlihat struktur mikro pada spesimen *raw material*. Fasa yang terjadi pada spesimen *raw material* yaitu fasa perlit dan fasa ferrit.

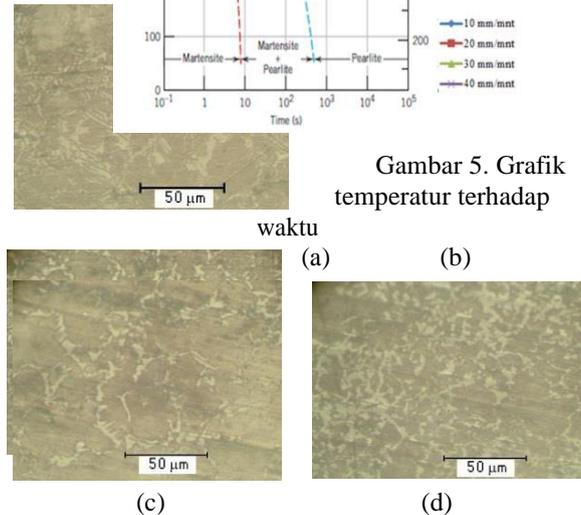


Gambar 4. Struktur mikro raw material

Struktur mikro dari semua variasi pengujian pada permukaan dapat dilihat pada Gambar. 6. Sedangkan grafik temperatur-waktu yang terjadi pada saat proses *flame hardening* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik temperatur terhadap waktu



Gambar 6. Stuktur mikro variasi kecepatan (a) 10 mm/mnt, (b) 20 mm/mnt, (c) 30 mm/mnt, (d) 40 mm/mnt

Kecepatan *torch* dan temperatur sangat berpengaruh pada kedalaman pengerasan, hal ini diperlihatkan pada fasa yang terjadi. Pada variasi kecepatan 10 mm/mnt, temperatur permukaan pada awal pemanasan 853 °C, fasa yang terjadi yaitu fasa austenit dan akan bertransformasi menjadi fasa perlit setelah diberi pendinginan air. Fasa perlit muncul pada permukaan spesimen, hal ini juga terjadi pada kedalaman 0,2 mm dan 1 mm. Kedalaman 5 mm dan 10 mm fasa yang terjadi yaitu fasa perlit dan fasa ferrit, karena temperatur pada bagian ini dibawah temperatur kritis (727 °C) sekitar 302 °C dengan waktu pendinginan 6 detik, sehingga tidak terbentuk fasa martensit. Munculnya fasa perlit dan ferrit disebabkan karena pendinginan dilakukan secara kontinyu dari fasa austenit. Pernyataan tersebut sesuai dengan dasar teori, bahwa pendinginan yang kontinyu dari baja karbon terdapat pendinginan kritis yang menghasilkan fasa martensit, sedangkan pada pendinginan yang lebih lambat menghasilkan fasa perlit dan ferrit (Callister, 1994). Variasi kecepatan 20 mm/mnt temperatur permukaan pada awal pemanasan mencapai 847 °C, sehingga setelah diberi pendinginan air permukaan spesimen terbentuk fasa perlit. Kedalaman 0,2 mm, 1 mm, 5 mm, dan 10 mm terlihat fasa perlit serta fasa ferrit, hal ini disebabkan suhu

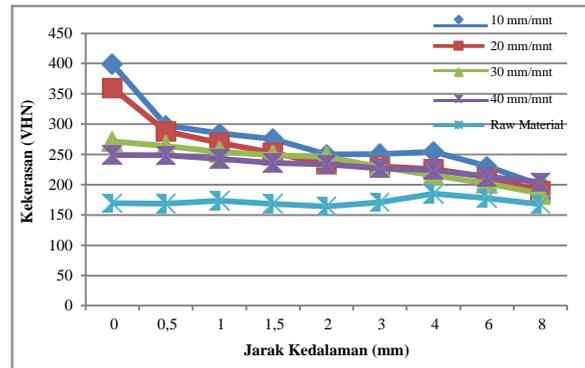
yang terjadi 364 °C dengan waktu pendinginan 3 detik, sehingga tidak terbentuk fasa martensit.

Variasi kecepatan 30 mm/mnt temperatur permukaan pada awal pemanasan mencapai 850 °C, sehingga setelah diberi pendinginan air permukaan spesimen terbentuk fasa perlit. Temperatur pada bagian bawah spesimen 371 °C di bawah temperatur kritis dengan waktu pendinginan 2 detik, sehingga fasa martensit tidak terbentuk. Pada kedalaman 0,2 mm, 1 mm terdapat fasa perlit dan fasa ferrit, hal ini juga terjadi pada kedalaman 5 mm, dan 10 mm. Pada variasi kecepatan 40 mm/mnt fasa yang terjadi pada semua kedalaman hampir sama, yaitu fasa perlit dan ferrit. Temperatur permukaannya di atas temperatur kritis, yaitu 850 °C, sedangkan pada bagian bawah temperaturnya 331 °C dengan waktu pendinginan 1,5 detik. Fasa martensit yang tidak tercapai pada baja karbon yang telah diberikan perlakuan panas *flame hardening* disebabkan tidak tercapainya temperatur austenisasi dan terjadinya pendinginan yang lebih lambat dari pendinginan kritis, sehingga struktur yang terbentuk hanya mencapai fasa perlit. Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa temperatur pendinginan belum melawati garis M(start), jadi fasa austenit belum berubah menjadi martensit (Callister, 1994).

Pengaruh Kecepatan Torch Terhadap Kekerasan Permukaan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji keras mikro vickers. Nilai kekerasan rata-rata pada kedalaman 0 mm, 1 mm, 1,5 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm dapat dilihat pada Gambar 7. Titik 0 merupakan bagian permukaan, sehingga nilai kekerasannya paling tinggi. Semakin dalam titik pengujian pada spesimen, maka nilai kekerasan semakin turun. Hal ini disebabkan panas yang dihasilkan dari proses *flame hardening* tidak merata sampai ke bawah spesimen, dikarenakan adanya pendinginan yang mengiringi *torch* pemanas saat proses *flame hardening* berlangsung [1].

Variasi kecepatan *torch* 10 mm/menit mempunyai nilai kekerasan maksimum sebesar 398,9 VHN dan kekerasan minimum 215,5 VHN. Variasi kecepatan *torch* 20 mm/menit mempunyai nilai kekerasan maksimum sebesar 356,2 VHN dan kekerasan minimum 207,3 VHN. Variasi kecepatan *torch* 30 mm/menit mempunyai nilai kekerasan maksimum sebesar 271,6 VHN dan kekerasan minimum 185,3 VHN. Variasi kecepatan *torch* 40 mm/menit mempunyai nilai kekerasan maksimum sebesar 249,2 VHN dan kekerasan minimum 203,9 VHN. Raw material spesimen mempunyai kekerasan rata-rata 172,9 VHN. Dari data diatas nilai kekerasan hasil pengujian tidak mencapai batas kedalaman kekerasan. Menurut standar ISO No. 2693-1973: tebal lapisan didefinisikan sebagai jarak dari permukaan benda kerja ke suatu bidang yang memiliki kekerasan sebesar 550 VHN (Suratman, 1994).



Gambar 7. Grafik pengaruh kecepatan *torch* terhadap kedalaman pengerasan

Kecepatan *torch* pemanas sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan spesimen, seperti ditunjukkan pada Gambar 10 yang menggambarkan grafik pengaruh kecepatan *torch* terhadap kedalaman pengerasan. Grafik yang terdapat pada Gambar 10 nilai kekerasannya mengalami penurunan dari bagian permukaan ke bagian dalam spesimen. Hal ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan [2], grafik nilai kekerasan terhadap jarak *torch* pemanas dengan *nozzle* pendingin juga mengalami penurunan dari permukaan ke bagian dalam spesimen. Pada titik 0 semua variasi kecepatan memiliki nilai kekerasan paling tinggi, karena bagian ini yang terkena panas dari *torch* secara langsung yang diikuti dengan pendinginan secara kontinyu hingga terbentuk fasa perlit pada permukaan spesimen.

Variasi kecepatan 10 mm/mnt merupakan variasi dengan nilai kekerasan paling tinggi, diikuti dengan variasi kecepatan 20 mm/mnt, 30 mm/mnt, 40 mm/mnt. Titik pengujian kedalaman 0,5 mm sampai kedalaman 8 mm semua nilai kekerasan mengalami penurunan, namun pada kedalaman 4 mm variasi kecepatan 10 mm/mnt nilai kekerasannya naik, tetapi pada kedalaman 6 mm nilai kekerasannya menurun sampai kedalaman 8 mm. Hasil tersebut dipengaruhi oleh temperatur dan laju pendinginan pada spesimen, karena variasi kecepatan yang berbeda maka hasil kekerasannya juga berbeda pada tiap variasi. Selain itu perbedaan nilai kekerasan juga dipengaruhi oleh suhu/distribusi panas yang tidak stabil, faktor cuaca lingkungan sekitar, dan sistem alat yang kurang optimal. Penelitian yang dilakukan oleh Danang (2009) menunjukkan bahwa dengan kecepatan *torch* pemanas yang lambat menghasilkan kekerasan permukaan paling tinggi dan menghasilkan sifat yang keras di permukaan tetapi ulet di bagian tengah spesimen. Kekerasan permukaan dan kedalaman pengerasan dipengaruhi oleh waktu pemanasan dan suhu nyala api, semakin lama waktu pemanasan maka semakin keras [1].

Pengaruh Kecepatan Torch Terhadap Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan menggunakan alat uji tarik UTM (Universal Testing Machine) sehingga diperoleh grafik tegangan-regangan yang memberikan informasi data berupa kekuatan tarik, perpanjangan, ketangguhan, dan keuletan dari spesimen yang diuji tarik. Kekuatan tarik (σ) dan elongasi (ϵ) diperoleh dari perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kekuatan tarik} : \sigma = P/A \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4.1)$$

$$\text{Elongasi} : \epsilon = \Delta L/L_0 \text{ (\%)} \quad (4.2)$$

Keterangan: σ = Kekuatan tarik (N/mm²)

P = Beban (kN)

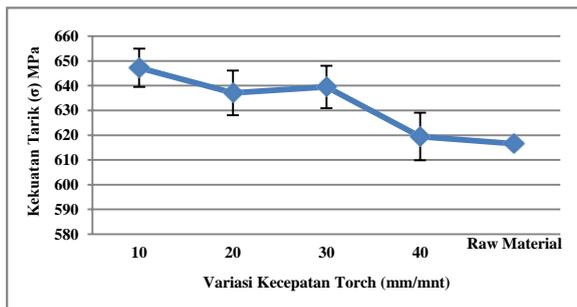
A = Luas penampang (mm²)

ϵ = Elongasi (%)

L = Panjang setelah mulur (mm)

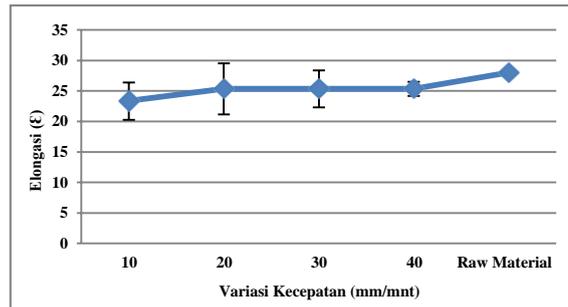
L₀ = Panjang awal (mm)

Nilai kekuatan tarik, elongasi, dan ketangguhan spesimen dari hasil pengujian tarik menggunakan mesin UTM ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10 dibawah ini:



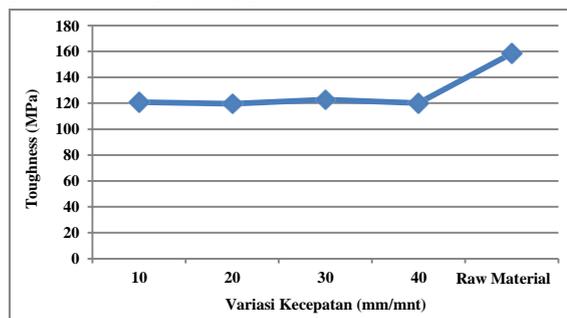
Gambar 8. Grafik pengaruh kecepatan *torch* terhadap kekuatan tarik (σ)

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 8 menjelaskan pengaruh kecepatan *torch* terhadap kekuatan tarik. Variasi kecepatan *torch* 10 mm/mnt merupakan variasi dengan nilai kekuatan tarik paling tinggi, yaitu sebesar 647,3 MPa. Semakin cepat variasi kecepatan *torch*, nilai kekuatannya semakin turun. Variasi kecepatan *torch* 20 mm/mnt mempunyai kekuatan tarik sebesar 637,1 MPa. Pada variasi kecepatan *torch* 30 mm/mnt kekuatannya meningkat dari variasi 20 mm/mnt, yaitu sebesar 639,5 MPa. Kemudian kekuatan tarik turun kembali sebesar 619,5 MPa pada variasi kecepatan *torch* 40 mm/mnt. Kekuatan tarik untuk *raw material* sebesar 616,6 MPa. Besarnya nilai kekuatan tarik dipengaruhi oleh sifat keras dan ulet yang ditandai dengan adanya fasa perlit serta ferrit pada spesimen uji setelah diberikan perlakuan panas pada permukaannya.



Gambar 9. Grafik pengaruh kecepatan *torch* terhadap elongasi (ϵ)

Grafik pada Gambar 9 diatas menunjukkan bahwa elongasinya mengalami peningkatan dari variasi kecepatan *torch* 10 mm/mnt sampai 40 mm/mnt. Nilai elongasi rata-rata pada variasi kecepatan 10 mm/mnt sebesar 23,3 %, sedangkan pada variasi kecepatan 20 mm/mnt, 30 mm/mnt, dan 40 mm/mnt mempunyai nilai elongasi rata-rata yang sama, yaitu sebesar 25,3 %. *Raw material* mempunyai nilai elongasi paling tinggi, yaitu sebesar 28 %. Meningkatnya nilai elongasi disebabkan karena semakin tinggi variasi kecepatan *torch* pemanas, maka sifat material menjadi ulet, karena fasa yang terjadi berupa fasa perlit serta ferrit dan menyebabkan pertambahan panjang pada material.

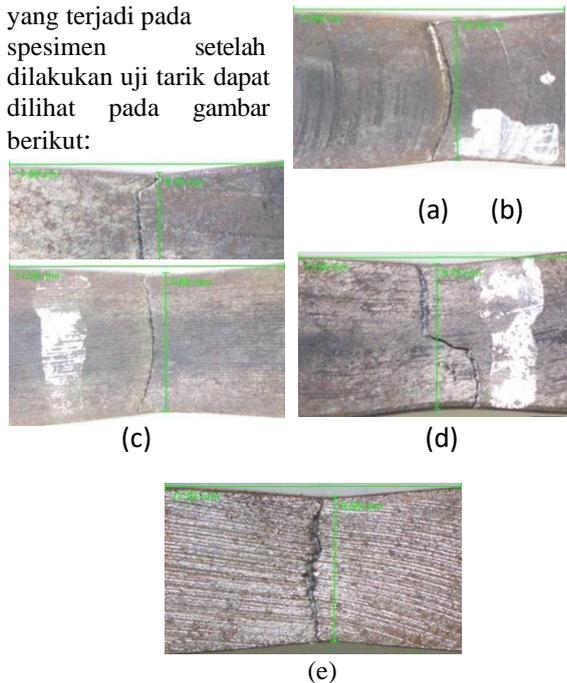


Gambar 10. Grafik pengaruh kecepatan *torch* terhadap ketangguhan

Gambar 10 diatas menunjukkan ketangguhan material setelah dilakukan uji tarik menggunakan mesin UTM. Nilai ketangguhan yang paling tinggi dimiliki oleh *raw material*, yaitu sebesar 158,6 MPa. Ketangguhan berbanding lurus dengan nilai elongasi, hal ini menunjukkan bahwa semakin ulet suatu material maka ketangguhannya juga meningkat.

Untuk mengetahui sifat dari spesimen uji dapat dilihat dari bentuk patahannya. Variasi kecepatan 10 mm/mnt, 20 mm/mnt, 30 mm/mnt, 40 mm/mnt menunjukkan bahwa spesimen uji bersifat ulet, karena pada spesimen terjadi mekanisme necking, dan patahannya membentuk cup and cone. Sedangkan pada *raw material* bersifat getas, karena sedikit sekali deformasi plastis yang terjadi serta arah dari retakan sendiri tegak lurus dengan arah tarikan dan memiliki bentuk patahan yang datar. Hal ini sesuai dengan teori

yang dijelaskan oleh Callister (1994). Jenis patahan yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan uji tarik dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 11. Patahan variasi kecepatan (a) 10 mm/mnt, (b) 20 mm/mnt, (c) 30 mm/mnt, (d) 40 mm/mnt, (e) *raw material*

KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisa yang diperoleh dari hasil pengamatan serta pengujian dalam penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kekerasan spesimen setelah dilakukan proses *flame hardening* meningkat. Nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu 398,9 VHN pada variasi kecepatan *torch* pemanas 10 mm/mnt, sedangkan pada kecepatan 20 mm/mnt, 30 mm/mnt, dan 40 mm/mnt nilai kekerasannya menurun.
2. Proses *flame hardening* juga berpengaruh pada kekuatan tarik spesimen uji, nilai kekuatan tarik paling tinggi yaitu 647,3 MPa pada variasi kecepatan *torch* pemanas 10 mm/mnt, sedangkan pada kecepatan 20 mm/mnt, 30 mm/mnt, dan 40 mm/mnt nilai kekuatannya menurun.
3. Fasa martensit tidak tercapai, yang terbentuk berupa fasa perlit dan ferrit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. H. Amstead, "Teknologi Mekanik," Erlangga, Jakarta, 1995.
- [2] Apriyanto, Makhriza, "Pengaruh Jarak Torch Pemanas Dengan Nozzle Pendingin Terhadap Kekerasan Permukaan Baja Karbon Medium Pada Proses Flame Hardening," Surakarta, 2011.
- [3] ASTM E8/E8M-09, "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials,"
- [4] W. D. Calister, "Materials Science and Engineering an Introduction," John Willy and Sons Inc., Canada, 1994.

- [5] K. Gao, X. Qin, Z. Wang, and S. Zhu, "Effect Of Spot Continual Induction Hardening On Microstructure Of Steels: Comparison Between AISI 1045 and 5140 Steels," *J. Mater. Sci. and Eng.*, 2016.
- [6] Retno Hayuningtyas, "Pengaruh Kecepatan Gerak Torch Pemanas Terhadap Kekuatan Impak Serta Ketahanan Aus Baja Karbon Medium Pada Proses Automatic Flame Hardening," Surakarta, 2016.
- [7] S. Jeyaraj, K.P. Arulshri, K.P. Harshavardhan, And P.S. Sivasakthivel, "Optimization of Flame Hardening Process Parameters Using L9 Orthogonal Array of Taguchi Approach," *Int. J. of Eng. and Applied Sci. (IJEAS)*, 2015.
- [8] M. K. Lee, G.H. Kim, K.H. Kim, W.W. Kim, "Control of Surface Hardnesses, Hardening Depth, and Residual Stress of Low Carbon 12Cr Steel By Flame Hardening," *Surface and Coating Technology*, vol. 184, pp. 239-246, 2003.
- [9] Muh. Nurkhozin, "Pengaruh Manual Flame Hardening Pada Baja Tempa," Surakarta, 2006.
- [10] D. S. Nugroho, "Pengaruh Kecepatan Torch dan Jenis Nyala Api Terhadap Kekerasan Permukaan Baja Karbon Pada Proses Automatic Flame Hardening," Surakarta, 2009.