



Dinamika Teknik Mesin

Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin
<http://dinamika.unram.ac.id/index.php/DTM/index>



Pengaruh media pendingin dan waktu pada perlakuan *pack carburizing-quenching* baja karbon rendah SS400

The influence of cooling medium and time on pack carburizing-quenching treatment of low carbon steel SS400

Sujita*, I.G.N.K Yudhyadi, A. Zainuri, I.G.A.K.C. Adhi, R. Sutanto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 083834711149.

*E-mail: sujita@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 25 June 2021

Accepted 29 September 2021

Available online 1 October 2021

Keywords:

Pack carburizing-

Quenchingcooling medium

Surface hardness number

Ductility



The SS400 steel is widely used in the agricultural equipment industry because of its specific properties, malleability good corrosion resistance, and high strength to weight ratio. However, according to several research results it has several weaknesses, low surface hardness, ductility and wear resistance. Therefore, it is necessary to improve its mechanical properties so that the agricultural equipment products produced are of better quality. The purpose of this study was to determine the effect of variations in time and cooling media in the pack carburizing-quenching treatment of SS400 steel specimens. The pack carburizing treatment was carried out at a temperature of 875 °C, 90 minutes, the carburizing medium was a mixture of corncob charcoal and Picntadamaxima shell powder, with a composition of 70%:30%, followed by a quenching process with variations in time and cooling medium (water, oil SAE 40, cane molasses 10% and cane molasses 30%). The results of the study showed that the time and cooling medium affected the surface hardness, ductility and microstructure of the specimens. With 30% cane molasses cooling medium, quenching time of 4 minutes the largest specimen absorbed impact energy is 2.23 J/mm². On the other hand, the lowest surface hardness number is 285 Kg/mm². The increased ductility causes the cracking marks to disappear on the specimen surface. Based on observations with SEM, there is a decomposition of the martensite structure coarser grain sizes.

1. PENDAHULUAN

Keberhasilan pembangunan sektor pertanian propinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) tidak bisa lepas dari peran industri logam pembuat alat-alat pertanian. Industri logam pembuat alat pertanian yang ada di NTB 326 unit industri dengan omset rata-rata mencapai 764 juta/tahun (Disperindag NTB, 2019). Produk yang dihasilkan berupa bajak, cangkul, linggis, sabit dengan bahan dasar utamanya berupa baja karbon type SS400. Selain proses pembentukan logam kegiatan yang biasa dilakukan di industri pembuat alat-alat pertanian berupa perlakuan panas untuk mengeraskan permukaan logam yang biasa disebut proses *carburizing*. Di industri pembuatan alat pertanian konvensional (pandai besi) proses dilakukan dengan cara penyepuhan: alat pertanian yang sudah di bentuk di atasnya diberi arang kayu (biasanya arang kayu jati), kemudian dipanaskan di dapur terbuka. Kelemahannya produk yang dihasilkan ketebalan karbon pada permukaan tidak terkontrol/terukur, tidak merata sehingga kekerasannya tidak sama. Untuk industri alat pertanian yang lebih maju proses dilakukan dengan cara pemanasan permukaan yang biasa disebut dengan *flame hardening*, *nitriding*, dan *carburizing*. Kualitas alat pertanian yang dihasilkan kurang baik, keuletan material menurun, getas sehingga umur pemakaiannya (*wear resistance*) menurun dan biayanya mahal. Kegiatan penelitian untuk memperbaiki sifat dari baja karbon telah dilakukan.

Istiroyah dkk. (2019); Kumar dkk. (2019) telah melakukan studi tentang pengaruh pack carburizing pada baja karbon rendah type *mild steel*, dengan media karburasi karbon aktif. Variasi suhu yang digunakan 850, 900 and 950 °C, waktu karburasi (soaking time) 15 and 30 menit, dilanjutkan dengan quenching dengan media pendingin olie dan ditempering pada suhu 550 °C selama 60 menit. *Pack carburizing* pada suhu 900 °C menghasilkan sifat mekanik (kekuatan tarik, impak dan modulus elastisitas) *mild steel* yang optimum. Prosentase dari media karburasi mempengaruhi angka kekerasan permukaan baja *mild steel* (Kowser M.A dkk., 2015; Oyetunji dkk., 2012; Ihom, 2013). Media karburasi yang digunakan berupa arang kayu dan serbuk tulang sapi dengan perbandingan berat 60% : 40%. Perlakuan pack carburizing dilakukan pada suhu 900 °C, waktu karburasi 8 jam, lapisan ketebalan karbon (*case depth*) 2.32 mm. Proses pack carburizing juga mempengaruhi perambatan retak fatigue pada baja karbon rendah (Saini dan Gupta, 2012). Spesimen setelah perlakuan dilakukan uji tes fatigue metode rotating bending. Berdasarkan pengamatan fractography pada permukaan spesimen terjadi inisiasi rambatan retak mode transgranular. Penyebabnya adalah tegangan sisa tekan akibat proses *pack carburizing* dan kandungan unsur Cr pada baja karbon rendah yang memicu terjadinya retak intergranular (*intergranular decohesion cracking*). Penambahan unsur karbon pada permukaan baja rendah cenderung menurunkan kekuatan fatig dan umur fatiq (*fatigue cycles*) setelah perlakuan *pack carburizing*. Untuk memperbaiki dan meningkatkan kekuatan fatiq akibat perlakuan *pack carburizing* dilakukan dengan quenching dengan pemanasan awal pada temperatur *reaustenite*, dan *tempering* (Sultan, 2013). Spesimen berupa 16MnCr (ASTM 5117) steel rod, *Pack carburizing* pada suhu 900 °C, waktu 2 Jam. Quenching dilakukan dengan *preheating* pada variasi suhu (*reaustenite*) 750 °C, 800 °C dan 900 °C selama satu, dicelupkan ke media pendingin air. Dilanjutkan dengan proses tempering pada variasi suhu 200°C, 300°C, dan 400°C selama satu jam. Kesimpulan yang didapatkan *preheating* pada suhu diatas 800 °C, dapat meningkatkan kekuatan fatigue, memperpendek panjang retak pada permukaan spesimen.

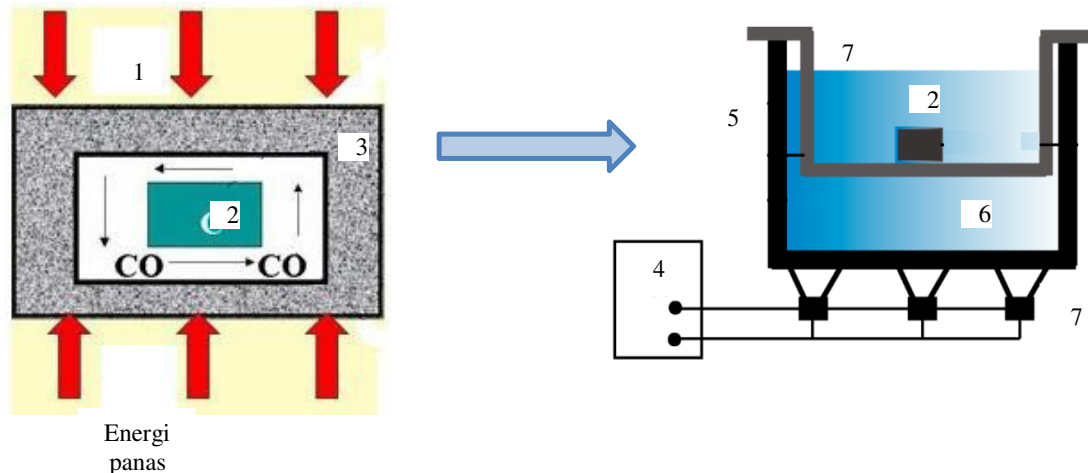
Berdasarkan hasil penelitian diatas penelitian quenching untuk memperbaiki keuletan baja karbon rendah setelah proses pack carburizing belum banyak dilakukan. Hasil penelitian yang telah dilakukan Salman K.D dkk. (2013); Sujita dkk. (2015) spesimen baja karbon yang mengalami proses pack carburizing meskipun angka kekerasan permukaannya meningkat, tetapi keuletannya cenderung menurun. Berdasarkan pengamatan menggunakan SEM, permukaan spesimen terjadi retakan, pada proses pack carburizing diatas suhu 925 °C, kemungkinan disebabkan adanya pengerasan regang (*strain hardening*) akibat laju pendinginan (cooling rate) cepat dengan menggunakan media air, sehingga permukaan spesimen keuletannya menurun, jika diaplikasikan sebagai peralatan pertanian mudah tumpul dan waktu pemakaian (*wear resistance*) pendek. Untuk meningkatkan keuletan spesimen baja SS400, setelah proses *pack carburizing* dilakukan perlakuan permukaan lanjut berupa quenching dengan menggunakan media cane mollasses, (Sujita dkk., 2020). Dengan pertimbangan harganya lebih murah dan tidak menimbulkan polusi udara (bau menyengat) dibandingkan dengan olie. Untuk menurunkan biaya produksi proses *pack carburizing* dengan media *carburizer* (arang tongkol jagung dan serbuk cangkang kerang mutiara). Media yang digunakan merupakan media *carburizer* alternatif yang berasal dari limbah pertanian dan budidaya kerang mutiara yang ada di wilayah Propinsi NTB.. Karena Propinsi NTB dikenal dengan daerah penghasil jagung dan sentra budidaya mutiara laut yang telah dicanangkan sejak tahun 2009. Sentra penghasil jagung meliputi daerah, Lombok Utara, Lombok Timur, Sumbawa dengan areal mencapai 995.121 Ha (BPS Provinsi NTB, 2017). Selain itu juga dikenal sebagai kawasan utama habitat asli kerang mutiara

Indonesia jenis *Pinctada maxima* (*The Queen of Pearl* atau ratunya mutiara). Pada tahun 2017 nilai ekspor mutiara mencapai nilai US\$ 498.803,864 dengan volume 0,155 ton dengan tujuan Singapore dan Hongkong (Disperindag NTB, 2019).

Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan tetes tebu (cane mollasses) sebagai media quenching pada proses pack carburizing baja SS400. Target khusus yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah dihasilkannya baja karbon (baja SS400), yang sifat mekaniknya (angka kekerasan permukaan, keuletan dan ketahanan aus) lebih baik dibandingkan dengan baja SS400 sebelumnya, dengan pertimbangan logam baja SS400 sangat dibutuhkan di bidang industri peralatan pertanian dalam rangka mendukung kemandirian industri dan ketahanan pangan nasional.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan skema aparatus seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema aparatus. 1. Kotak karburasi, 2. spesimen, 3. media karburasi, 4 adjust power suplay, 5. tangki quenching, 6. media pendingin, 7. tranduser.

Adapun spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan

Nama	Spesifikasi
Electrical furnace	TEC1-12706
Micro vickers test	HV-1000
Scanning electron Microscope (SEM)	Cam Scan MV2300
Impact test	JB-W300
Kotak karburasi	Plat baja tebal 5 mm Ukuran 230 mm x 200 mm x 150 mm
Spesimen	Baja karbon rendah SS400, dengan komposisi kimia : 98.34% Fe, 0.17%C, 1.4% Mn, 0.045% P dan 0.045% S. tegangan tarik maksimum 400 – 510 Mpa, tegangan luluh 235- 245 Mpa
Media karburasi	70% arang tongkol jagung, 30% serbuk cangkang kerang mutiara
Media pendingin	Air, oli SAE 40, cane molasses 10% dan 30%

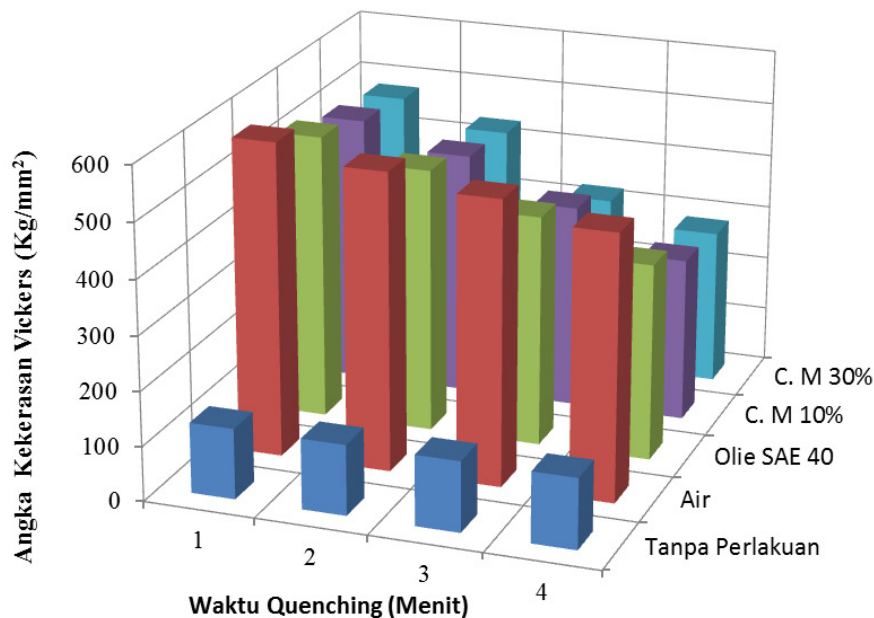
Perlakuan *pack carburizing-quenching* pada penelitian dilakukan pada suhu 875 °C, waktu karburasi 90 menit. Media karburasi yang digunakan berupa arang tongkol jagung (ATJ) dan serbuk cangkang kerang mutiara (SCKM) dengan berat 70% : 30%. Kemudian dilanjutkan dengan perlakuan quenching. Beberapa variabel yang diuji pada penelitian ini antara lain waktu quenching dan media pendingin.. Adapun variasi waktu quenching yang digunakan adalah 1, 2, 3 dan 4 menit. Pengaturan waktu quenching dilakukan dengan menggunakan stop watch. Variasi media pendingin yang

digunakan berupa air, olie SAE 40, cane mplasses 10% dan cane molasses 30%. Pada eksperimen ini digunakan *adjustable power supply* untuk suplai listrik pada tranduser, pada tangki qenching.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Angka kekerasan permukaan spesimen baja SS400

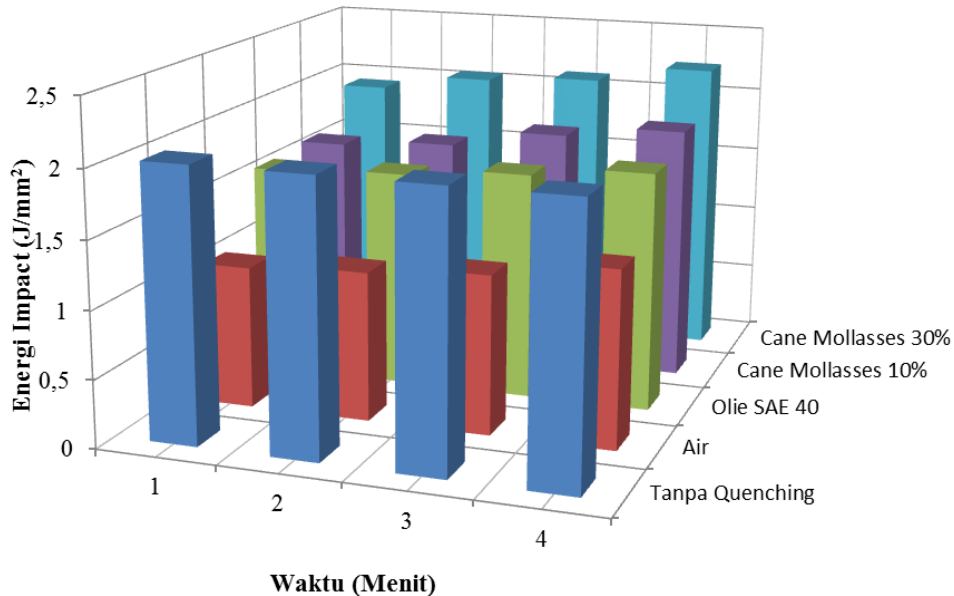
Berdasarkan hasil pengujian angka kekerasan spesimen baja SS400 sebelum perlakuan dengan pengujian mikro Vickers adalah 129 Kg/mm². Hasil pengujian kekerasan permukaan spesimen setelah perlakuan pack carburizing-quenching pada variasi waktu dan media pendingin quenching ditampilkan seperti oleh gambar 2. Secara umum proses pack carburizing menyebabkan terjadinya perubahan angka,kekerasan permukaan spesimen, yang mengindikasikan adanya penambahan unsur carbon pada permukaan spesimen. Tetapi angka kekerasan permukaan cenderung turun dengan adanya perlakuan quenching. Angka kekerasan permukaan tertinggi 575 kg/mm² (terjadi kenaikan 345 %) pada variasi waktu quenching 1 menit dengan menggunakan media pendingi air. Kemudian cenderung menurun dengan semakin meningkatnya waktu quenching dan media pendingin. Angka kekerasan terendah 285 Kg/mm² (terjadi kenaikan 120 %) dihasilkan pada prose quenching dengna waktu 4 menit dan media pendingin cane molasses 30 %. Faktor kekentalan media pendingin menyebabkan laju pendinginan (cooling rate) pada proses quenching, terjadi perubahan bentuk mikrostruktur yang mempengaruhi angka kekerasan permukaan. Berdasarkan pengukuran dengan viscometer kekentalan (viskositas) cane molasses 30% paling tinggi dbanding media pendingin (air, olie SAE 40 dan cane molasses 10%) dan waktu qenching lebih lama, menyebabkan laju pendinginnya paling rendah, sehingga struktur martensit yang terbentuk lebih kasar, sehingga angka kekerasan permukaannya paling rendah.



Gambar 2. Angka kekerasan permukaan spesimen baja SS400 setelah perlakuan *pack carburizing quenching*.

3.2 Keuletan spesimen baja SS400

Untuk mengetahui perubahan keuletan dari spesimen baja SS400 setelah perlakuan *pack carburizing-quenching* dilakukan dengan cara pengujian impact. Metode pengujian impact yang digunakan adalah metode *charpy* dan dalam setiap perlakuan spesimen yang diuji sebanyak 3 buah. Hasil pengujian impact seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Keuletan spesimen baja SS400 setelah perlakuan *pack carburizing-quenching*

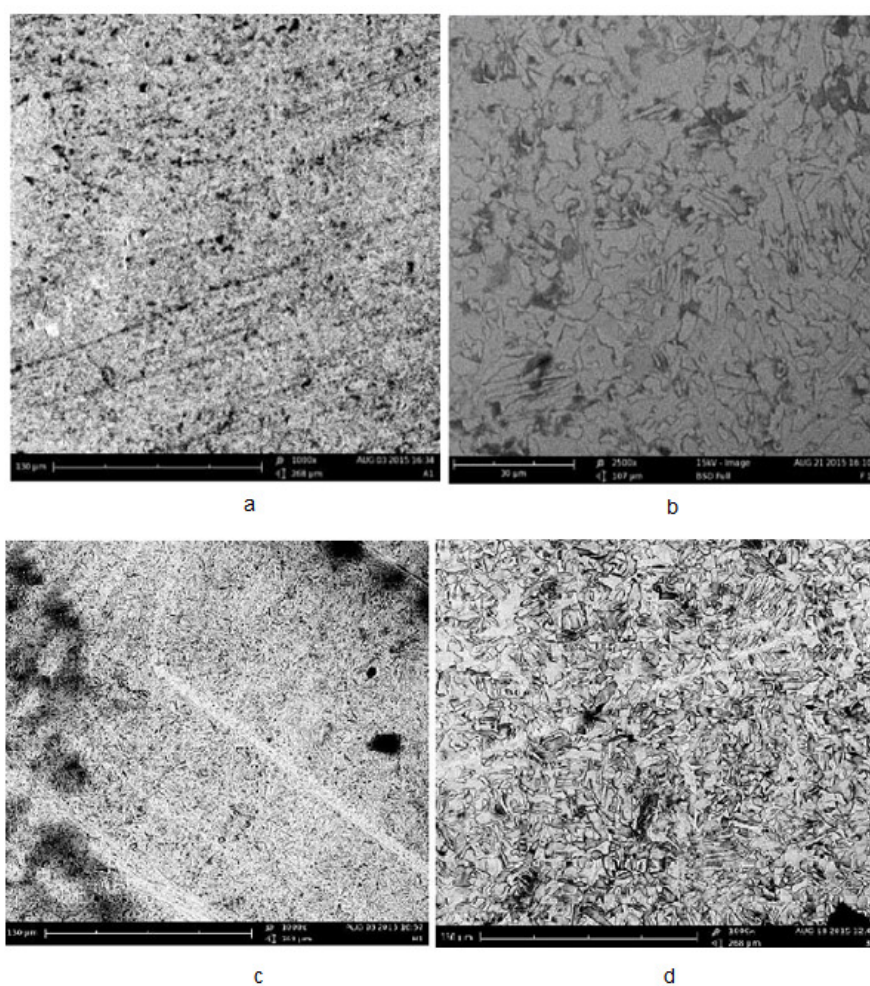
Setelah dilakukan pengujian impact dapat diketahui setelah perlakuan *pack carburizing* dengan media karburasi campuran ATG 70% dan SCKM 30% pada temperatur 875 °C dengan waktu karburasi 90 menit, didapatkan nilai energi impact rata-rata 2,02 J/mm². Besarnya energi impact yang diserap oleh spesimen saat pengujian impact menunjukkan keuletan dari spesimen. Artinya semakin tinggi energi impact yang diserap semakin baik keuletannya. Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3. energi impact dipengaruhi oleh waktu quenching dan media pendingin yang digunakan. Waktu quenching 4 menit dan media pendingin cane molasses 30 % didapatkan energi impact terbesar yaitu 2,23 J/mm² (terjadi kenaikan energi impact 10%). Selanjutnya energi impact terkecil 1,06 J/mm² (terjadi penurunan energi impact 47%) terjadi pada perlakuan *pack carburizing-quenching* dengan waktu 1 menit dan media pendingin air. Pada proses perlakuan *quenching* dengan waktu 2, 3, dan 4 menit, media pendingin cane molasses 30% terjadi peningkatan nilai energi impact, artinya spesimen lebih ulet daripada spesimen dengan perlakuan *pack carburizing* tanpa perlakuan quenching. Tetapi pada perlakuan quenching dengan waktu 1 sampai 4 menit, dengan media pendingin air, olie SAE 40, dan cane molasses 10%, energi impactnya lebih kecil dibandingkan tanpa *quenching*. Artinya spesimen lebih getas daripada spesimen tanpa perlakuan quenching setelah *pack carburizing*. Fenomena ini disebabkan karena waktu dan ketebalan media pendingin mempengaruhi perubahan ukuran butir mikrostruktur martensit yang terbentuk pada waktu perlakuan *quenching*. Semakin pendek waktu quenching dan semakin rendah ketebalan media pendingin menyebabkan laju pendinginan (cooling rate) meningkat, yang berdampak pada ukuran butir dari martensit yang terbentuk semakin kecil. Ukuran butirstruktur martensit yang semakin kecil menyebabkan kenaikan angka kekerasan permukaan dan penurunan energi impact yang diserap (keuletan menurun).

Nilai energi impact yang diserap spesimen (spesimen) hasil proses perlakuan *pack carburizing-quenching* dengan variasi waktu (1, 2, 3 dan 4 menit) menggunakan media pendingin air, olie SAE 40, cane molasses 10 % dan cane molasses 30% berbeda-beda bergantung pada ketebalan media pendingin yang digunakan.

3.3 Perubahan strukturmikro spesimen baja SS400

Pengamatan perubahan strukturmikro dilakukan dengan menggunakan scanning electron microscope (SEM-EDX) dengan perbesaran M100. Sebelum pengamatan semua spesimen (baik yang tidak diberi perlakuan maupun yang diberi perlakuan) diratakan permukaan dengan cara di polishing. Spesimen diletakkan pada cetakan silikon, digosok dengan kertas abrasif karbida dengan ukuran grit 180, 240, 320, 400 dan 600, sambil di basahi dengan air. Kemudian dilakukan pemolesan dengan

menggunakan mesin pemoles universal METASERV dengan mata pemoles dibalut kain beludru sintetis. Permukaan spesimen dilapisi dengan pasta Alumina setebal $1\mu\text{m}$, kemudian di *etching* dengan larutan Nital 2% (etsa) menggunakan metode swabbing dengan kapas yang direndam dalam etsa. Hasil pengamatan SEM *micrograph* perubahan strukturmikro akibat perlakuan pack carburizing-*quenching* ditunjukkan pada gambar 4. Gambar 4.a merupakan strukturmikro setelah perlakuan pack carburizing - *quenching* dengan menggunakan media pendingin air. Sampel yang didinginkan dengan air menunjukkan proporsi martensit yang tinggi. Bentuk butiran paling halus, menunjukkan bahwa laju pendinginan (*cooling rate*) terjadi lebih cepat dibanding media pendingin lainnya. Ditinjau dari angka kekerasan permukaannya paling tinggi dan energi impact yang diserap paling rendah atau keuletannya paling rendah. Kekerasan permukaan yang tinggi dengan keuletan yang semakin menurun menimbulkan tanda adanya *cracking* pada permukaan spesimen. Gambar 4.b merupakan strukturmikro setelah perlakuan *pack carburizing - quenching* dengan menggunakan media pendingin olie SAE 40. Sampel yang didinginkan menunjukkan martensit proporsi yang lebih rendah dari sampel yang didinginkan dengan air. Proporsi mikrostruktur martensit yang rendah tersebut adalah berhubungan dengan austenit yang tertahan (*retained austenite*) dengan butiran lebih besar/kasar dibanding dengan pendinginan dengan air. Hal ini sejalan dengan temuan dari, Shao dkk. (2016).



Gambar 4. SEM micrograph spesimen baja SS400 setelah perlakuan *pack carburizing — quenching*. a) Media pendingin air. b) Media pendingin olie SAE 40. c) Media cane molasses 10%. d) Media pendingin *cane molasses* 30%.

Gambar 4.c merupakan struktur mikro setelah perlakuan *pack carburizing - quenching* dengan menggunakan media pendingin cane molasses 10%. Struktur mikro sampel yang diquenching dengan media pendingin cane molasses 10% menunjukkan lebih banyak austenit yang berubah menjadi martensit dibandingkan dengan quenching dengan media pendingin cane molasses 30%. Hal ini

mungkin yang menyebabkan kekerasan permukaannya tinggi sesuai dengan hasil studi yang dilaporkan oleh, (Kowser M.A dkk., 2015; Al-Sabea dkk., 2017; Apriatun dkk., 2017).

Gambar 4.d merupakan struktur mikro setelah perlakuan pack carburizing - quenching dengan menggunakan media pendingin cane molasses 30%. Gambar SEM micrograph (Gambar 4.3.c dan d) menunjukkan bahwa struktur martensit semakin kasar coarse dengan meningkatnya konsentrasi larutan cane molasses. Karena meningkatnya konsentrasi sebanding dengan meningkatnya viskositas larutan cane molasses. Laju pendinginan menurun dengan meningkatnya viskositas. Penurunan kecepatan pendinginan menyebabkan dekomposisi martensit dan austenite sisa menjadi ferit leat jenuh, halus dan bainit rendah. Dekomposisi struktur martensit dan austenite sisa, menyebabkan penurunan angka kekerasan permukaan, kekuatan dan peningkatan energi impact (peningkatan keuletan). dan berdampak hilangnya tanda terjadinya cracking pada permukaan spesimen.

Pengamatan SEM tersebut sejalan dengan hasil penelitian (Dodo dkk.,2016). Kekerasan permukaan yang diperoleh paling rendah untuk sampel yang di quenching selama 4 menit.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa temuan. Perlakuan pack carburizing-quenching dengan media pendingin cane molasses 30% menyebabkan angka kekerasan permukaan paling rendah yaitu 285 Kg/mm², penyerapan energi impact (keuletan) paling tinggi yaitu 2,23 J/mm² serta tidak menimbulkan tanda adanya cracking pada permukaan spesimen baja SS400. Berdasarkan hasil pengamatan SEM micrograph perlakuan pack carburizing-quenching terjadi perubahan butiran struktur martensit, dekomposisi martensit akibat perbedaan kekentalan (viskositas) media pendingin yang menyebabkan perubahan laju pendinginan (cooling rate).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada Ketua LPPM Universitas Mataram atas atas dukungan finansialnya pada penelitian ini, Kepala Laboratorium Mekanik Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Mataram, Kepala Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Speciality Handbook, 2005, Carburizing technology for low carbon steel and steel alloys, JR.Davis and Associates, USA.
- Anonim, 2019, Kegiatan industri dan perdagangan, Dinas Industri dan Perdagangan NTB.
- Anonim, 2017, Sentra Budidaya Jagung, BPS Propinsi NTB.
- Apriatun, Taufikurahman, Sundari E., 2021, Analisa pengaruh waktu penahanan pada proses pack carburizing terhadap kekerasan baja karbon rendah ST 37, Machinery Jurnal Teknologi Terapan, Poteknik Negeri Sriwijaya, 2(1), 36-41.
- Al-Sabea, Jabbar, Al-Hashimy, Zahid, 2017, Effect of different quenching media on microstructure, hardness, and wear behavior of steel used in petroleum industries, Journal of Petroleum Research & Studies, 3(2), 67-75.
- Saini B.S., Gupta V.K., 2012, Fatigue crack propagation behaviour of some low alloy steels in case carburised condition, International Journal of Materials Engineering Innovation, 3(5), 330–339.
- Dodo M.R., Ause T., Dauda E.T., Adamu M.A., 2016, Investigating the cooling rate of cane molasses as quenching medium for 0.61% C high carbon steels, Metall. Mater. Eng., Association of Metallurgical Engineers of Serbia, 22, 39-49. 10.30544/139.
- Ihom P.A., 2013, Case hardening of mild steel using cowbone as energiser, African J. Eng. Res, 1(3), 97–101.
- Istiroyah, Septi D.W., Suhana, 2019, The effect of quenching media on hardness and carbon in carburized steel, IOP Conf. Series Materials Science and Engineering 546
- Kumar, Ramesh, Selvaraj, Senthil K.G., Ramesh, Arravind M.D., Venkateswarlu, 2019, Effect of soaking time on evolution of microstructure and hardness during annealing of EN-47 spring steel, Materials Science Forum. 969, 427-432.
- Kowser M.A., Motalleb A., 2015, Effect of quenching medium on hardness of carburized low carbon steel for manufacturing of spindle used in spinning mill, Procedia Engineering, 105, 814-820
- Oyetunji, Akinlabi, Adeosun, Samson, 2012, Effects of carburizing process variables on mechanical and chemical properties of carburized mild steel, Journal of Basic & Applied Sciences. doi:10.6000/1927-5129.2012.08.02.11.

- Shao-lei Long, Yi-long Liang, Yun Jiang, Yu Liang, Ming Yang, Yan-liang Yi, 2016, Effect of quenching temperature on martensite multi-level microstructures and properties of strength and toughness in 20CrNi2Mo steel, *Materials Science and Engineering A*, 676, 38-47..
- Sultan J.N., 2013, Effect of austenizing and tempering heat treatment temperatures on the fatigue resistance of carburized 16MnCr5 (ASTM 5117) Steel, *Tikrit Journal of Engineering Science*, 20(4), 1-10
- Salman K.D., 2018, Effect of quenching media on mechanical properties of medium carbon steel 1030, *Journal of University of Babylon, Engineering Sciences*, 26(2), 214-222.
- Sujita, Zainuri A., Paryanto D.S., 2015, Pengaruh penambahan serbuk tulang sapi terhadap kekerasan dan keuletan baja carbon rendah pada proses pack carburizing dengan dengan media carburasi arang bambu, *Laporan Penelitian Dasar, Fakultas Teknik Universitas Mataram*.
- Sujita, Salman, Sugiman, Agus D.C., Paryanto D.S., 2020, Peningkatan kualitas produk alat pertanian dengan metode pelapisan calsium carbida (CaC) melalui proses pack carburizing, *Laporan Penelitian PNBP, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Mataram*.