

PROSES *PACK CARBURIZING* PADA BAJA LUNAK LOKAL UNTUK KOMPONEN *TENSILE LINK*

Aryo Satito, Ampala Khoryanton, Hariyanto, Sri Harmanto, Suyadi
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275
Website: www.polines.ac.id

ABSTRACT

Tensile link is a component in the Garbuio SD508 cutter machine which functions to connect the drive and grip the knife. The company's efforts to reduce the cost of supplying spare parts is to replace these components using local soft steel materials. Because the mechanical properties of local steel are lower than the genuine components, the useful life is shorter. The purpose of this study is to recommend the application of pack carburizing processes on the local soft steel type ST40 so that the tensile link mechanical properties of local soft steel approach the genuine. The research parameters are temperature (800°C, 900°C and 1000 ° C) and holding time (1 hour, 2 hours, and 3 hours), while graphite of 80% plus a calcium carbonate (CaCO₃) catalyst of 20% is used as an addition carbon content in the specimen. The research methods include literature study, pack carburizing process, emission spectrographic test, tensile strength test and hardness test. The hardness value of local soft steel is between 76.75 HRB to 79.83 HRB before the carburizing pack process. ST40 hardness value after the highest pack carburizing is 109.86 HRB at a temperature variation of 1000 °C with a holding time of 2 hours and the highest tensile strength is 753.2908 MPa at a temperature variation of 900 °C with a holding time of 3 hours. The recommended pack carburizing parameter is 800 °C with a holding time of 3 hours with a hardness value of 88.33 HRB and tensile strength of 595.652 MPa because it is closest to the genuine tensile link hardness which is 98.785 HRB.

Keywords: *Tensile Link, ST40, Pack Carburizing, Temperature, Holding Time.*

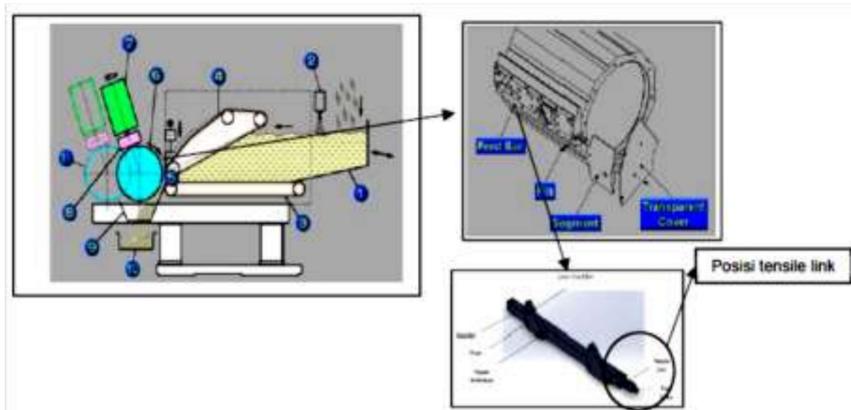
ABSTRAK

Tensile link adalah komponen pada mesin *cutter* Garbuio SD508 yang berfungsi menghubungkan penggerak dan pencekam pisau. Upaya perusahaan menekan biaya pengadaan suku cadang adalah dengan menggantikan komponen tersebut dengan menggunakan material baja lunak lokal. Karena sifat mekanis baja lokal lebih rendah komponen asli, maka umur pakainya lebih pendek. Tujuan penelitian ini adalah merekomendasikan penerapan proses *pack carburizing* pada material baja lunak lokal jenis ST40 agar sifat mekanik *tensile link* baja lunak lokal mendekati yang asli. Parameter penelitian adalah temperatur (800°C, 900°C dan 1000°C) dan *holding time* (1 jam, 2 jam, dan 3 jam), sedangkan grafit (C) sebesar 80% yang ditambah katalis kalsium karbonat (CaCO₃) sebesar 20 % digunakan sebagai penambah kadar karbon pada spesimen. Metode penelitian meliputi studi pustaka, proses *pack carburizing*, uji spectrografi emisi, uji kuat tarik dan uji kekerasan. Nilai kekerasan baja lunak lokal adalah antara 76,75 HR_B sampai 79,83 HR_B sebelum proses *pack carburizing*. Nilai kekerasan ST40 setelah *pack carburizing* tertinggi adalah 109,86 HR_B pada variasi temperatur 1000 °C dengan *holding time* 2 jam dan kekuatan tarik tertinggi adalah 753,2908 MPa pada variasi temperatur 900 °C dengan *holding time* 3 jam. Rekomendasi parameter *pack carburizing* adalah 800 °C dengan *holding time* 3 jam dengan nilai kekerasan 88,33 HR_B dan kekuatan tarik 595,652 MPa karena paling mendekati kekerasan *tensile link* asli yaitu 98,785 HR_B.

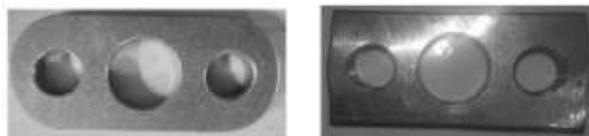
Kata kunci: *Tensile Link, ST40, Pack Carburizing, Temperatur, Holding Time.*

PENDAHULUAN

PT. DJARUM PRIMARY KRAPYAK sebagai *plant processing* pembuatan rokok menerapkan strategi *local content* untuk meminimalisasi biaya pengadaan *spare part*. Caranya adalah dengan membuat komponen atau *spare part* yang mempunyai bentuk dan dimensi yang sama atau memodifikasi sesuai kebutuhan dengan menggunakan material yang mudah dijumpai dipasaran lokal dan memaksimalkan sumber daya yang ada di perusahaan. Salah satu *spare part* yang dibuat di *workshop* adalah *tensile link* yang digunakan pada penggerak pisau mesin perajang tembakau *Garbuio SD508*. Material lokal yang digunakan *mildsteel* yang lebih dikenal sebagai ST40 karena mudah diperoleh di pasaran dengan harga relatif murah. *Mild steel* adalah material yang umum di gunakan terutama di Negara-negara berkembang untuk berbagai aplikasi rekayasa. Sedangkan ASM (1993) menyatakan bahwa kandungan karbon dalam *mildsteel* adalah 0,268%.



Gambar 1. Mekanisme penggerak pisau pada mesin Tobacco Cutter GARBUIO SD 508



Gambar 2. Komponen *genuine tensile link* dan *tensile link* yang dibuat dari material baja lunak lokal setelah digunakan selama 400 jam

Tensile link merupakan komponen penghubung antara *drum segment* dan *feed bar* pada rangkaian penggerak pisau mesin *cutter* Garbuio SD 508 (Gambar 1). Jangka penggantian *tensile link* adalah 400 jam, namun terdapat perbedaan bentuk dan dimensi antara *tensile link genuine* dan *tensile link local* pada penggunaan 400 jam (Gambar 2). Jika dilihat dari deformasinya, *tensile link genuine* masih layak dipakai dan dapat ditambah *lifetime* untuk penggantian selanjutnya. Namun deformasi pada *tensile link local* setelah penggunaan 400 jam mengharuskan untuk dilakukan penggantian ulang sebab jika tidak diganti pisau tidak dapat bergerak maju karena gerak dari *drum segment* sebagai penggerak terlambat oleh deformasi *tensile link local content*. Akibatnya pisau tidak terasah dan menjadi tumpul sehingga menyebabkan tembakau kering tidak dapat terpotong secara rata atau disebut *uncut*.

Sifat mekanik *tensile link local* harus ditingkatkan agar mendekati sifat mekanik *tensile link genuine* dan *life time* di harapkan dapat bertambah agar dapat mengurangi frekwensi penggantian *tensile link* dan dapat memaksimalkan perawatan ke bagian lain karena tidak memerlukan penggantian berkala 400 jam untuk *tensile link local content*. Harapan lainnya adalah jika sifat mekanik *tensile link local* mendekati *genuine tensile link* maka tidak perlu lagi impor. Solusi untuk meningkatkan sifat mekanik *tensile link local* yang terbuat dari material *mildsteel* atau baja karbon rendah adalah dengan *heat treatment*. *Heat treatment* pada logam dapat merubah mikrostruktur, di mana dapat meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan dan lain-lain.

Berdasarkan kandungan karbon pada *mildsteel*, dapat diklasifikasikan ke dalam kategori baja karbon rendah. Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dari 0,3% C sehingga diperlukan penambahan kadar karbon pada baja karbon rendah dapat dikeraskan secara langsung (ASM, 1993).

Menurut Elzanaty (2014), metode *carburizing* yang paling mudah diterapkan adalah *pack carburizing*, karena peralatan yang digunakan mudah dijumpai. *Pack carburizing* adalah proses di mana karbon monoksida yang berasal dari senyawa padat pada logam terurai di permukaan menjadi karbon yang baru terbentuk dan karbondioksida dan terserap ke dalam logam. Pembentukan karbon

monoksida ditingkatkan oleh *energizer* atau *katalis*, antara lain *calcium karbonat* (CaCO₃).

Tujuan penelitian memberikan rekomendasi parameter proses *pack carburizing* pada material ST40 yang digunakan untuk material *tensile link* yang paling mendekati sifat mekanik kekerasan dan kekuatan tarik *tensile link genuine* sehingga tidak perlu *import*.

TINJAUAN PUSTAKA

Baja

Baja dikenal sebagai material yang banyak digunakan di segala bidang. Menurut Abdulrazzaq (2016) baja yang merupakan paduan dari besi (Fe) dan karbon (C) dengan kandungan unsur karbon antara 0,2 % sampai 2,1 %. Dan baja diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) kelompok utama, yaitu baja lunak adalah baja dengan kandungan karbon $\leq 0,20\%$ dan tidak mengandung unsur lain selain Si dan Mn, baja karbon rendah adalah baja dengan kandungan karbon 0,10 % ~0,25 % dan baja karbon tinggi adalah dengan kandungan karbon 0,56 % ~1,70 % dengan disertai tambahan unsur lain pada komposisinya.

Sedangkan menurut Nitha, et al (2017) baja lunak dan baja karbon rendah sangat sulit untuk ditingkatkan nilai kekerasannya bila dilakukan proses perlakuan panas secara langsung.

Carburising.

Untuk dapat meningkatkan nilai kekerasan baja melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) sangat ditentukan oleh kandungan karbon yang ada dalam baja itu sendiri. Apabila kadar karbon dalam baja $> 0,30\%$ (Nwoke , 2017), maka baja tidak akan dapat ditingkatkan nilai kekerasannya dengan cara di *heat treatment* secara langsung.

Salah satu cara agar kadar karbon pada baja karbon rendah dapat ditingkatkan adalah dengan melakukan proses penambahan kadar karbon dengan cara membungkus spesimen baja karbon rendah dengan material penambah kadar karbon (*carburized material*) yang pada umumnya adalah serbuk karbon, serbuk grafit, atau serbuk arang aktif dalam suatu wadah (container) yang tahan panas

untuk kemudian dipanaskan sampai temperatur antara 800 °C sampai 1050 °C. Apabila temperatur proses sudah tercapai maka temperatur ini harus dipertahankan selama 2 jam sampai 12 jam (*holding time*). Proses selanjutnya adalah mendinginkan spesimen yang telah dipanaskan selama jangka waktu tertentu tadi secara tiba-tiba, proses pendinginan ini dikenal sebagai *quenching process* (Elzanaty, 2014).

Agar baja karbon rendah dapat ditingkatkan kadar karbon dalam komposisinya, Omunakwe, et al (2017) melakukan proses *case carburizing* pada baja karbon rendah dengan menggunakan material *carburized* berupa campuran serbuk arang tempurung kelapa dan serbuk kalsium karbonat (CaCO_3) pada temperatur 900 °C dan 1000 °C. Hasilnya adalah kadar karbon pada baja karbon rendah meningkat sampai dengan 70% lebih besar dari kondisi kadar karbon awal. Sedangkan peningkatan kadar karbon yang lebih besar dicapai oleh Oluwafemi, et al (2015) yang melakukan proses *carburizing* pada baja AISI 1020 dengan media *carburized material* serbuk arang tempurung kelapa anyar. Proses *carburizing* adalah upaya penambahan kadar karbon pada spesimen dengan cara membungkus spesimen dengan serbuk arang aktif dari tempurung kelapa. Hasil yang dicapai adalah peningkatan nilai kekerasan spesimen sampai 80 % dengan temperatur proses 950 °C dengan waktu penahanan 2 jam.

Alias, et al (2013) melakukan upaya peningkatan sifat mekanis pada permukaan baja karbon rendah (0,19 % C) dengan cara membungkus spesimen dengan menggunakan adonan *carburized material*. Hasil yang dicapai peningkatan komposisi karbon pada permukaan spesimen sebesar 80% dari 0,19 % C menjadi 0,35 % C setebal 1,2 mm.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan tersebut diatas sangat sejalan dengan tujuan penelitian ini, yaitu memodifikasi material baja lunak dan baja karbon rendah menjadi material yang memenuhi persyaratan pembuatan komponen *tensile link* yang harus memiliki nilai kekerasan tertentu dan ketahanan aus yang memadai.

Uji Komposisi Kimia Pengujian Spesimen

Spektrometer emisi adalah salah satu alat analisis kimia untuk penentuan unsur-unsur logam dalam suatu bahan padat masif logam maupun paduan logam, secara kualitatif maupun kuantitatif (Anggraini dkk, 2005).

Uji spectrometer di lakukan untuk mengetahui komposisi kimia pada *tensile link genuine* khususnya adalah kandungan karbon C sehingga dapat di ketahui jenis material yang digunakan. Selain *tensile link genuine*, material ST40 juga di uji spectrometer untuk membuktikan bahwa material ST40 merupakan baja karbon rendah dengan kandungan karbon C dibawah 0,3%.

Uji Tarik

Untuk mengetahui sifat mekanik logam maupun non logam salah satu pengujian yang digunakan adalah uji tarik. Uji tarik merupakan suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah (Anggraini dkk, 2005).

Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah salah satu dari beberapa macam pengujian yang dipakai karena dapat dilakukan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Pengujian yang paling banyak digunakan adalah dengan menekan penetrator atau indentor dengan bentuk dan beban sesuai standart yang telah ditentukan terhadap benda uji dan mengukur dimensi bekas penekanan indentor yang terbentuk di atasnya (Vikas, 2017).

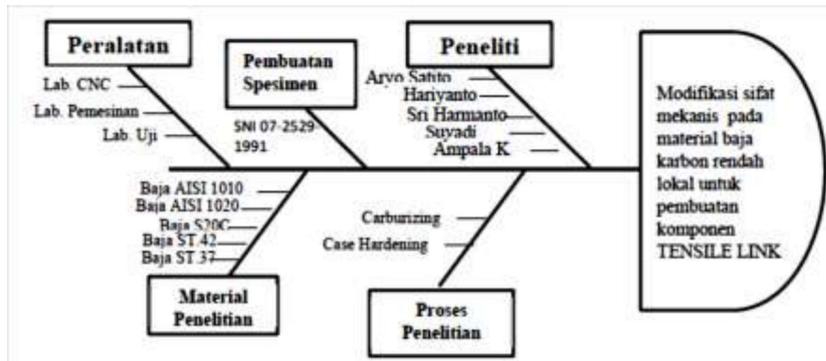
Menurut Callister (2007), nilai hasil pengujian kekuatan tarik dapat dikonversikan menjadi nilai kekerasan dalam skala *Brinell* dengan persamaan sebagai berikut :

$$TS, MPa = 3,45 \times HB \quad (1)$$

dengan : *TS* = *Tensile Strength, MPa* ; dan

HB = *Hardness Brinell Number, HB*

Pelaksanaan Penelitian Dalam Bentuk Diagram Ithikawa



Gambar 3. Diagram Ishikawa penelitian

Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah baja lunak yang mudah dijumpai di pasaran lokal, yaitu ST.40.

Lokasi dan Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan pada penelitian ini yang terdapat pada Lab. Pemesinan dan Lab. Uji Bahan Politeknik Negeri Semarang, antara lain adalah : mesin frais, mesin bor, mesin gerinda, *Universal Testing Machine*, *Heat Treatment Furnace*, *Hardness Testing Machine*.

Variabel Penelitian

Variabel yang dilakukan pada penelitian ini adalah temperatur proses carburizing, dan waktu proses carburizing. Keseluruhan variabel ini akan berpengaruh pada sifat mekanis, terutama nilai kekerasan spesimen.

Langkah Percobaan

Langkah-langkah percobaan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Baja karbon rendah jenis ST.40 dibentuk sesuai standar SNI 07-2529-1991
- Lakukan proses *carburizing* dengan cara *case hardening methods* dengan variabel yang ditentukan, yaitu temperatur dan waktu proses dan dilanjutkan dengan proses pendinginan secara kejut (*quenching*) dengan media pendinginan yaitu *quenching oil*.
- Uji komposisi karbon pada permukaan spesimen.
- Uji nilai kekerasan spesimen dengan metode pengujian Rockwell C

- e. Lakukan analisa data dari semua hasil pengujian kekerasan spesimen.

Luaran Penelitian

Luaran tahunan penelitian adalah data nilai kekerasan spesimen dan rekomendasi proses *carburizing* yang paling sesuai untuk material baja lunak ST. 40 sebagai material pembuat komponen *tensile link* untuk mesin Tobacco Cutter GARBUIO SD 508.

Indikator Capaian

Indikator capaian yang diharapkan dari penelitian ini adalah nilai kekerasan spesimen mencapai 40 s/d 50 HRc seperti nilai kekerasan komponen *tensile link* yang asli.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Uji Spektrografi

Tabel 1. Komposisi kimia *genuine tensile link*.

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
%	97,5	0,280	0,261	0,665	0,0722	0,0530	0,146

Tabel 2. Komposisi kimia material baja lunak ST40 lokal

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
%	98,8	0,266	0,147	0,428	0,0485	0,0285	0,0116

(Sumber :Laboratorium Logam Ceper Polman Ceper).

Data Uji Kekerasan

Tabel 3. Nilai kekerasan *genuine tensile link*.

Jenis Pengujian Kekerasan	Nilai kekerasan setiap titik (HR _B)				Rata-rata (HR _B)
	1	2	3	4	
Rockwell "B"	91	95	92	94	93

(Sumber : Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Semarang).

Tabel 4. Nilai kekerasan *tensile link local content*.

Jenis Pengujian Kekerasan	Nilai kekerasan setiap titik (HR _B)				Rata-rata (HR _B)
	1	2	3	4	
Rockwell "B"	76	75	78	78	76,75

(Sumber : Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Semarang).

Data Uji Kekerasan dan Kekuatan Tarik Material Baja Lunak ST 40 Lokal Setelah Proses *Pack Carburizing*.

Tabel 5. Nilai kekerasan dan kekuatan tarik baja lunak ST 40 lokal sesudah proses

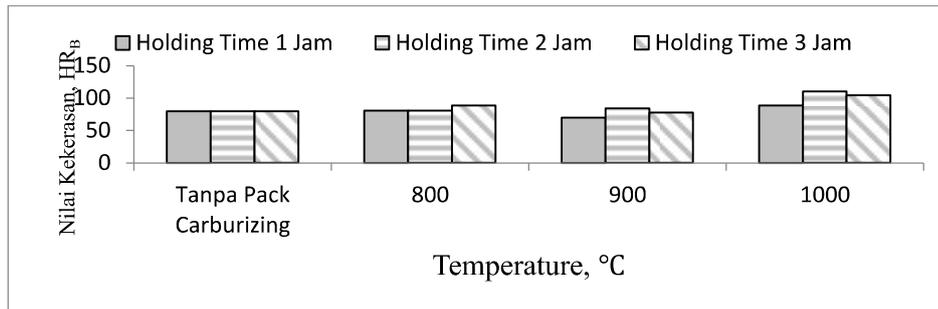
Temperatur <i>pack carburizing</i>	800 °C			900 °C			1000 °C		
	1h	2h	3h	1h	2h	3h	1h	2h	3h
Nilai kekerasan Rata-rata, HR _B	80,7	80,3	88,3	69,8	83,8	77,5	88,3	109,9	103,9
Kekuatan tarik rata-rata, kN	47,6	47,8	48,3	46,1	42,2	53,9	56,6	-	-

(Sumber : Laporan Pengujian Laboratorium Bahan Politeknik Negeri Semarang).

Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan specimen Material Baja Lunak ST 40 lokal yang melalui proses *pack carburizing* menggunakan metode *Rockwell* skala B (HR_B).

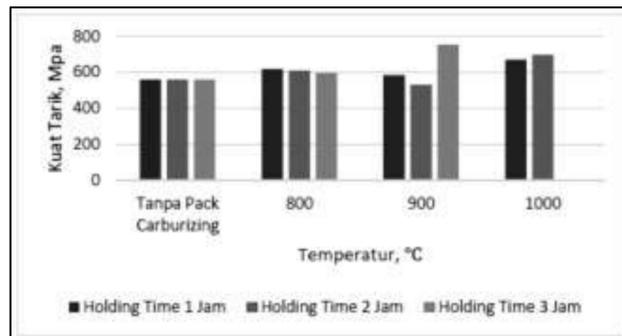
Nilai kekerasan awal Material Baja Lunak ST 40 lokal adalah 79,83 HR_B, sementara nilai kekerasan Material Baja ST 40 lokal setelah *pack carburizing* yang paling tinggi adalah pada variasi temperatur 1000 °C dengan *holding time* 2 jam yaitu 109,86 HR_B dan nilai kekerasan paling rendah adalah pada variasi temperatur 900 °C dengan *holding time* 1 jam. Gambar 5.1 menunjukkan perbedaan nilai kekerasan untuk setiap variasi temperatur dan *holding time*.



Gambar 4. Grafik nilai kekerasan dengan variasi temperatur dan *holding time*.

Hasil Uji Tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan pada specimen Material Baja Lunak ST 40 Lokal tanpa *pack carburizing*, variasi temperatur dan *holding time*. Setiap parameter terdapat 3 spesimen uji kuat tarik sehingga total jumlah specimen adalah 30 spesimen. Hasil dari nilai kuat tarik dapat dilihat pada Tabel 5.9 sehingga dapat dibuat dalam bentuk grafik diagram batang seperti Gambar 5.2.



Gambar 5. Grafik nilai kuat tarik dengan variasi temperatur dan *holding time*.

Sementara untuk sampel uji tarik temperatur 1000 °C (Gambar 5.3) terjadi ketidakmampuan mesin uji tarik dikarenakan kekerasan mencapai 103,88 HR_B



(25,33 HRC). Pencekam mesin uji tarik tidak mampu mencekam dengan baik, hal ini disebabkan panjang l_j (panjang bagian benda uji yang terjepit pada mesin tarik) meskipun spesimen uji tarik mengacu pada SNI 07-2529-1991.

Gambar 6. Spesimen uji tarik *pack carburizing* temperatur 1000 °C dengan *holding time* 3 jam.

Nilai kuat tarik *genuine tensile link* dapat diketahui dengan mengkonversi nilai kekerasan menjadi kuat tarik dimana nilai kekerasan *genuine tensile link* adalah 93 HRB (lihat Tabel 4.2).

Nilai kekerasan *genuine tensile link* harus dikonversikan menjadi *Brinell Hardness Number* (HB) agar dapat dihitung menjadi nilai kuat tarik, konversi HRC dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 6. Konversi nilai kekerasan.

HR_B	91	92	93
HB	190	195	200

(ASTM E 140-02).

Konversi nilai kekerasan ke kuat tarik dihitung dengan persamaan (1).

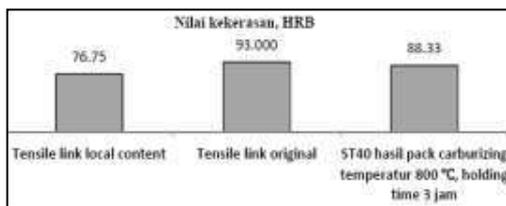
$$TS, MPa = 3,45 \times HB$$

$$TS \text{ tensile link original}, MPa = 3,45 \times 200 = 690 MPa$$

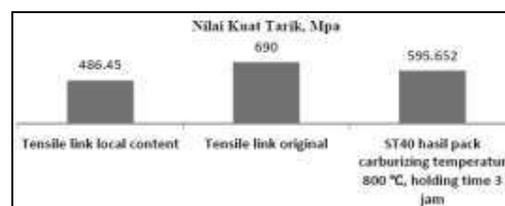
Sedangkan untuk tegangan tarik dari *genuine tensile link* dengan rumus yang sama dan didapatkan hasil sebesar 486,45 MPa.

Berdasarkan hasil penelitian yang ditampilkan dalam bentuk grafik pada bagian 5.2, rekomendasi parameter *pack carburizing* Material Baja Lunak ST 40 Lokal untuk *tensile link local content* adalah temperatur 800 °C dengan *holding time* 3 jam karena nilai kekerasan 88,33 HR_B dengan nilai kuat tarik 595,6 MPa karena nilai kekerasan mendekati dari kekerasan dan nilai kuat tarik mendekati *genuine tensile link* yaitu 92,5 HR_B dan 681,4 MPa berdasarkan konversi nilai kekerasan menjadi nilai kuat tarik dan lebih tinggi di bandingkan dengan nilai kekerasan *genuine tensile link* yaitu 76,75 HR_B dengan nilai konversi ke kekuatan tarik yaitu 486,45 MPa .

Selain parameter temperatur 800 °C dengan *holding time* 3 jam, terdapat parameter lain yang mempunyai nilai kekerasan sama yaitu parameter temperatur 1000 °C dengan *holding time* 1 jam, namun lebih direkomendasikan menggunakan parameter temperatur 800 °C dengan *holding time* 3 jam karena *holding time* yang semakin lama diharapkan mampu menambah *case depth* atau kedalaman diffuse karbon pada permukaan material ST40.



Gambar 7. Perbedaan nilai kekerasan berdasarkan rekomendasi



Gambar 8. Perbedaan nilai kuat tarik berdasarkan rekomendasi.

SIMPULAN

Kesimpulan dari analisis dan pembahasan atas pengaruh temperatur dan *holding time* pada proses *pack carburizing* pada material baja lunak ST 40 adalah sebagai berikut :

- Nilai kekerasan *tensile link local* adalah 76,75 HR_B lebih rendah dibandingkan *genuine tensile link* yaitu 98 HR_B dan material baja lunak ST 40 dengan nilai kekerasan 79,83 HR_B. Namun perbedaan nilai kekerasan antara *tensile link local* dan material baja lunak ST 40 lokal tidak terlalu besar sehingga dapat digunakan sebagai alternative dari material *mildsteel* untuk penelitian *pack carburizing*.
- Pack carburizing* pada variasi temperatur 800 °C, 900 °C dan 1000 °C berpengaruh terhadap kekerasan dan kekuatan tarik material baja lunak ST 40 lokal di setiap variasi *holding time* dengan nilai kekerasan tertinggi adalah pada temperatur 1000 °C dengan *holding time* 2 jam (109,86 HR_B) dan kekuatan tarik tertinggi pada temperatur 900 °C dengan *holding time* 3 jam (753,2909 MPa).

SARAN

Beberapa saran yang dapat disampaikan dari penelitian ini adalah :

- a. Rekomendasi parameter *pack carburizing* untuk material ST. 40 sebagai bahan untuk *tensile link local content* adalah temperatur 800 °C *holding time* 3 jam yang mempunyai nilai kekerasan 88,33 HR_B dan kekuatan tarik 595,623 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, Dian dkk. 2005. "Aplikasi Spektrometer Emisi Pada Analisis Unsur-unsur Bahan Paduan Aluminium AlMgSi-1". *Jurnal Teknik Bahan dan Nuklir*. Volume 1 Nomor 2.
- ASM Handbook. 1991. *Heat Treating*. ASM Handbook Committee. Volume 4. *Alloys. Metals handbook*. Volume 1.
- Abdulrazzaq, Mohammed Abdulraoof. Dr., 2016, " *Investigation the Mechanical Properties of Carburized Low Carbon Steel* ", Journal of Engineering Research and Application, ISSN : 2248-9622, Vol. 6, Issue 9, pp. 59-64.
- Alias, Siti Khadijah., et al., 2013, " *Mechanical Properties of Paste Carburized ASTM A516 Steel* ", Procedia Engineering vol. 68, pp. 525-530. Science Direct, Elsevier.
- Callister, William D. 2007. *Material Science and Engineering 7th*. John Wiley & Sons, Inc. Kanada.
- Elzanaty, Hesham, 2014, " *The Effect of Carburization on Hardness and Wear Properties of The Mild Steel Samples* ", International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN : 2018-9324, vol. 6 No. 4, pp. 995-100.
- Nitha. , et al., 2017, " *Behavior of Low Carbon Steel Mechanical Properties Due Pack Carburizing Media Charcoal Buffalo Bone* ", International Journal of Research Science and Management, ISSN : 2349-5197, vol. 4, pp. 38-47.
- Nwoke, V.U., et al., 2014, " *Effect of Process Variables On Mechanical Properties Quenched In Different Media* ", International Journal of Scientific and Technology Research, ISSN : 2277-8617, vol. 3, Issue 4, pp. 388-398.
- Oluwafemi, Olunike Mary, et al., 2015, " *Effect of Carburizing Temperature and Time on Mechanical Properties of AISI / SAE 1020 Steel Using Carbonized Palm Kernel Shell* ", Leonardo Electronic Journal of Practice and Technologies, ISSN : 1538-1078, Issue 27, pp. 41-56.
- Patel, Amarishkumar J., Sunilkumar N Chaudhari, 2015, " *Effect of Different Tempering Temperature and Different Load on Wear Behaviour and Mechanical Properties on Mild Steel* ", International Journal of Advance Engineering and Research Development, ISSN : 2348-4470, vol. 2, Issue 10, pp. 69-76.
- Omunakwe, Reginald., et al., 2017 , " *Effect of Carburization With Palm Kernel / Coconut Shell Mixture on The Tensile Properties and Case Hardness of Low Carbon Steel* ", Fouye Journal of Engineering and Technology, ISSN : 2579-0617, vol. 2 Issue 1, pp.101-105.
- Vikas & Rajeev Choudhary. 2017. " *Mechanical and Wear Properties of Carburized Mild Steel Samples* ". *International Journal of Modern Trends in Engineering and Science*. Volume 4 Nomor 6.