c.6._3260-8143-1-PB_Fitonia-Rudi_S.pdf

by

Submission date: 21-Sep-2021 03:06AM (UTC-0500)
Submission ID: 1653724839
File name: c.6._3260-8143-1-PB_Fitonia-Rudi_S.pdf (1.07M)
Word count: 3949
Character count: 22846

ROTARY
ISSN: 2721-6225 (print)
ISSN: 2745-6331 online)
Volume 3 No 1 2021
https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/rot
page 81-94

PENGARUH *HOLDING TIME* DAN MEDIA PENDINGIN PADA *CARBURIZING* MATERIAL SUS 630 TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKUR MIKRO

Fittonia Aditya Putra[1)], Rudi Siswanto[2)]
[1,2]Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat
Jl. Akhmad Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan 700714
Telp. 0511-4773858
Email: fittonia.aditya1@gmil.com

Abstract

Stainless steel is material that mostly used in chemical industry because of its excellence in corrosion resistance, in addition to corrosion resistance, hardness on the surface of the material it is also be considered, to meet these needs material engineering is carried out, which is surface hardening. Carburizing is one method to harden the surface. This study aims to determine the effect of holding time and cooling (water, air, and oil) on carburizing SUS 630 stainless steel to hardness, microstructure, and diffusion depth. The material used is SUS 630 stainless steel, with carbon content 0.02%. The heating process at temperature 1020°C with holding time 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours and 5 hours then cooled to water, oil and air cooling. Test results show; 1) the longer holding time the value of hardnesswill increases. The maximum hardness value is at 5 hours holding time are 76HRN(water), 71.4HRN(air), and 78.2HRN(oil); 2) the occurrence of micro structure transformation due to holding time and cooling. The microstructure formed is structure of ferrite, perlite and martensite; 3) the longer holding time, the diffusion depth will increases. The maximum diffusion depth value is 5 hours holding time are 7.55ɥm(water), 10.42ɥm(air), and 9.98ɥm(oil).

Keywords *: Carburizing, Diffusion, Holding Time, Hardness, Microstructure.*

PENDAHULUAN

Baja adalah salah satu material yang banyak digunakan dunia industri, salah satunya adalah baja *stainlees steel*. Penggunaan baja *stainless steel* dapat di sesuaikan dengan kebutuhan sesuai dengan sifat material yang di perlukan karena memiliki sifat dan karakter yang berbeda-beda. Baja *stainless steel* biasanya memiliki komposisi beberapa unsur paduan. Unsur yang paling berpengaruh dan paling dominan pada baja *stainless steel* adalah unsur *chromium*. Unsur *chromium* berpengaruh terhadap ketahan korosi dari lingkungan kerja, selain itu *stainless steel*mempunyai lapisan oksida stabil pada permukaannya sehingga memiliki resistansi terhadap pengaruh oksigen. Lapisan oksida ini memiliki sifat*self-healing* sehingga tetap utuh meskipun permukaan benda dipotong atau dirusak. Keunggulan dalam ketahanan korosi tersebut membuat banyak industri kimia menggunakannya. Selain ketahanan korosi kekerasan material khususnya pada permukaan juga merupakan hal penting yang harus di perhatikan, untuk memenuhi kebutuhan tersebut dilakukan rekayasa material, salah satunya adalah pengerasan pada permukaan (*surface hardening*).Material SUS 630 termasuk baja *stainless steel* yang

sering digunakan pada industri kimia, SUS 630 memiliki kadar karbon rendah dengan paduan *chromium* tinggi, sehingga salah satu cara untuk meningkatkan kekerasannya adalah dengan menggunakan metode *packcarburizing*yang merupakan metode rekayasa material yang berguna untuk meningkatkan jumlah kandungan karbon pada baja. Berdasarkan kondisi diatas maka penulis mengangkat judul tentang ‘‘Pengaruh *Holding time* dan Media Pendingin pada *Carburizing* Material SUS 630 Terhadap Nilai Kekerasan dan Strukur Mikro”

12

Stainless steel

Baja tahan karat (*stainless steel*) adalah paduan berbasis besi yang mengandung minimum sekitar 11% Cr, ini adalah jumlah yang dibutuhkan untuk mencegah pembentukan karat di atmosfer yang tidak tercemar. *Stainless steel* mencapai karakteristik tahan karatnya melalui pembentukan lapisan permukaan oksida yang kaya akan kromium yang tidak terlihat, lapisan oksida ini bersifat self healing.Baja tahan karat dapat dibagi menjadi lima kategori yaitu: feritik, martensitik, austenitik, dupleks dan *precipitation hardening*.

Feritic Stainless Steel

FeriticStainless steel memiliki struktur kristal (BCC). Paduan ini tidak memungkinkan untuk dikeraskan dengan *heat treatment*. Baja tahan karat feritik mengandung 11 dan 30% Cr, dengan hanya sedikit unsur pembentuk austenit, seperti karbon, nitrogen, dan nikel, pengaplikasiannya umumnya tergantung pada kandungan kromiumnya. Paduan kromium rendah memiliki ketahanan terhadap korosi dan oksidasi yang baik dan mudah dibuat dengan biaya rendah, sedangkan paduan kromium tinggi (19-30%) digunakan pada aplikasi yang membutuhkan ketahanan korosi dan oksidasi tingkat tinggi.

Austenitic Stainless Steels

*Austenitic stainless steels*merupakan kategori baja tahan karat terbesar dalam hal jumlah paduan dan penggunaan. Paduan austenitik bersifat nonmagnetik dan strukturnya face-centered-cubic (FCC). Austenitic *stainless steel*s ini mengandung setidaknya 16% kromium dan 6% nikel. Unsur-unsur lain dapat ditambahkan seperti molibdenum, titanium atau tembaga, untuk memodifikasi atau meningkatkan sifat-sifatnya sehingga cocok untuk banyak aplikasi penting yang melibatkan suhu tinggi serta ketahanan terhadap korosi.

Martensitic Stainless Steels

*Martensitic Stainless Steels*mirip dengan paduan besi-karbon *austenite* karena dapat dikeraskan dengan pendinginan dan tempering untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan. Paduan ini bersifat magnetis dan strukturnya adalah tetragonal yang berpusat pada tubuh (BCT). Kekuatan yang diperoleh dengan perlakuan panas tergantung pada kandungan karbon dari paduan tersebut. Meningkatkan kandungan karbon meningkatkan kekuatan tetapi mengurangi keuletan dan ketangguhan.

DuplexStainless Steels

*Duplex stainless steels*adalah paduan kromium-nikel-molibdenum yang seimbang mengandung campuran *austenite* dan *ferite*. Struktur dupleks menghasilkan peningkatan ketahanan retak-korosi tegangan dibandingkan dengan *stainless steel* austenitic, ketangguhan dan duktilitas yang lebih baik dibanding dengan *stainless steel* feritik. Selain itu baja dupleks memiliki ketahanan korosi umum yang sama atau lebih baik dari seri 304 dan 316.

Precipitation HardeningStainless Steels

Baja tahan karat - *hardenable* (PH) *stainless steel* adalah baja stainless dengan kadar kromium-nikel yang dapat diperkeras dengan perlakuan penuaan. Baja PH dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan akan kekuatan dan ketangguhan tinggi sambil mempertahankan ketahanan korosi yang baik. *Stainless steel*PH mempunyai kekuatan dan ketangguhan tinggi melalui penambahan aluminium, titanium, niobium, vanadium, dan / atau nitrogen, yang membentuk endapan selama perlakuan panas penuaan. Ada dua jenis utama baja tahan karat PH: semi-austenit dan martensit.

SUS 630

Material SUS 630 termasuk dalam kelompok material *precipitation hardening*. Ada lima material serupa dengan seri 600, yaitu 631, 632, 633, 634, dan 660. Sebagian besar material prepitation hardening dapat dikeraskan hingga 44 HRC dan sangat sering bisa lebih tinggi, tetapi tidak menggunakan teknik *quench-hardening* konvensional yang digunakan untuk mencapai fasa martensit. Teknik pengerasan untuk material presipitasi hardening lebih seperti yang diaplikasikan pada logam *non-ferrous*. Pendekatan umum yang dapat dilakukan adalah dengan memanaskan pada suhu tinggi, mendinginkan dengan cepat, kemudian aging (penuaan) dengan memanaskan pada suhu menengah. Namun, ada perbedaan dalam teknik untuk berbagai grade material. (Harry Chandler). Martensitic tipe 630 menggabungkan kekuatan dan kekerasan tinggi dengan ketahanan terhadap korosi yang baik. Dapat diperkeras dengan satu perlakuan panas suhu rendah yang secara virtual menghilangkan penskalaan dan distorsi.

Tabel 1. *Chemical properties SUS 630*

Symbol of Grade	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Ni**	**Cr**	**Cu**	***Others***
SUS 630	0.07 max	1.0 max	1.0 max	0.04 max	0.03 max	3.0 to 5.0	15.0 to 17.5	3.0 to 5.0	Nb 0.15 to 0.45
SUS 631	0.09 max	1.0 max	1.0 max	0.04 max	0.03 max	6.5 to 7.75	16.0 to 18.0	-	Al 0.75 to 1.50

Solusi Heat Treatment

Untuk grade 630 dan untuk sebagian besar grade *precipitation hardening* lainnya, sifat akhir dapat agak berbeda dengan variasi dalam suhu penuaan (*aging*). Namun, perlakuan berikut ini paling sering digunakan:

1. Perlakukan dengan memanaskan pada 1875°F hingga 1925°F (1025 hingga 1050°C).
2. *Quenching* dengan oli hingga temperatur kamar.
3. *Aging* pada 900°F (480°C) selama 1 jam dan udara dingin (dikenal sebagai kondisi H900).

PackCarburizing

Pack carburizing adalah proses di mana karbon monoksida yang berasal dari senyawa padat terurai di permukaan logam menjadi karbon baru dan karbon dioksida. Karbon yang baru lahir diserap ke dalam logam, dan karbon dioksida segera bereaksi dengan bahan karbon yang ada dalam senyawa karburisasi padat untuk menghasilkan karbon monoksida segar. Pembentukan karbon monoksida ditingkatkan oleh *energizers* atau katalis, seperti *barium carbonat* ($BaCO^3$), *calcium carbonat* ($CaCO^3$), *calium karbonat* ($K2CO^3$), dan *natrium carbonat* ($Na2CO^3$), yang hadir dalam senyawa karburisasi. *Energizer* ini karbon dioksida dengan karbon untuk membentuk karbon monoksida. Jadi, dalam sistem tertutup, jumlah *energizer* tidak berubah. Karburisasi terus berlanjut selama ada cukup karbon untuk bereaksi dengan kelebihan karbon dioksida.

Quenching

Quenching mengacu pada proses pendinginan bagian logam yang cepat dari *austenitizing* atau larutan pengolah suhu, biasanya dari kisaran 815 hingga 870°C (1500 hingga 1600°F) untuk baja. Baja tahan karat dan baja paduan tinggi dapat didinginkan untuk meminimalkan keberadaan batas karbida butir atau untuk meningkatkan distribusi ferit tetapi sebagian besar baja termasuk karbon, paduan rendah, dan baja perkakas, didinginkan untuk menghasilkan jumlah martensit dalam struktur mikro yang terkontrol. Pengerasan yang sukses biasanya berarti mencapai mikrostruktur yang dibutuhkan, kekerasan, kekuatan, atau ketangguhan sambil meminimalkan tegangan sisa, distorsi, dan kemungkinan retak. Pemilihan media *quenchant* tergantung pada pengerasan paduan tertentu, ketebalan bagian dan bentuk yang terlibat, dan laju pendinginan yang diperlukan untuk mencapai mikrostruktur yang diinginkan. Media *quenchant* yang paling umum adalah cairan atau gas. *Liquid quenchants* yang biasa digunakan meliputi oli, air, air garam, dan lain sebagainya

Difusi

Difusi adalah migrasi bertahap atom dari satu kisi ke kisi lainnya. Faktanya, atom dalam bahan padat berada dalam gerakan konstan, posisi dapat berubah dengan cepat. Agar atom dapat bergerak atau berdifusi seperti itu, ada dua syarat yang harus dipenuhi yaitu harus ada sisi atau ruang yang kosong, dan atom harus memiliki energi untuk memutuskan ikatan dengan atom lainnya.Pada suhu tertentu beberapa fraksi kecil dari jumlah atom mampu berdifusi berdasarkan besarnya dari

energi getaran yang mereka timbulkan. Fraksi ini meningkat dengan meningkatnya suhu, difusi dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu :

Difusi *Vacancy*

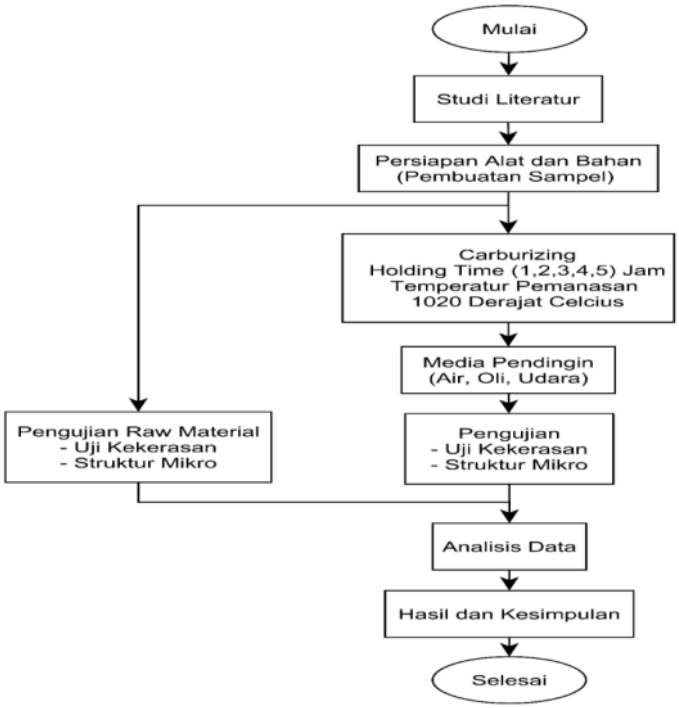
Difusi vacancy merupakan mekanisme melibatkan pertukaran atom dari posisi kisi normal ke lokasi atau kekosongan kisi kosong yang berdekatan, mekanisme ini secara tepat disebut difusi kekosongan.

Difusi *Interstitial*

Difusi *Interstitial* merupakan tipe difusi yang melibatkan atom dimana atom tersebut bermigrasi dari posisi interstitial ke posisi bersebelahan yang kosong.Pada kebanyakan paduan logam, difusi *interstitial* terjadi jauh lebih cepat daripada difusi *vacancy*, karena atom interstitial lebih kecil dan dengan demikian lebih *mobile*.

METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar1. Dimana pada diagram menjelaskan proses atau tahapan penelitian dari awal sampai akhir, tahapan tersebut diuraikan sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Persiapan Penelitian

Bertujuan untuk mempersiapkan segala perlengkapan yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian mulai dari bahan sampai peralatan yang akan digunakan.

Pembuatan Spesimen

Spesimen dibuat dengan ukuran yang sama, spesimen berbentuk ¼ lingkaran dengan jari-jari lingkaran ±2,5 cm dan tebal ±0,6 cm.

Pembuatan Kotak *Carburizing*

Pembuatan kotak *carburizing* dengan konstruksi kotak berbentuk persegi panjang dengan dimensi 9,5 cm x 10 cm x 4,5 cm.

Proses Pemanasan Spesimen

Pemanasan dilakukan secara bertahap waktu *pre-heating* selama 1 jam dari temperatur ruang ke temperatur 1020^0Ckemudian dilakukan *holding* selama 1 jam, 2 jam, 3 jam 4 jam dan 5 jam untuk spesimen yang berbeda-beda. Setelah waktu holding tercapai spesimen dikeluarkan lalu didinginkan dengan media air, oli dan udara.

Pemotongan dan Mounting Spesimen

Material yang telah mengalami perlakuan carburizing dan telah didinginkan kemudian dipotong menjadi 2 bagian, setelah itu dilakukan proses mounting pada material yang telah dipotong

***Polishing* Material**

Polishing material dilakukan agar menghasilkan permukaan material yang bersih dan rata sehingga memudahkan pengamatan saat melakukan pengujian *microstructure*

Pengujian Spesimen

Pengujian dilakukan setelah proses *pack carburizing* selesai, pengujian meliputi uji kekerasan dan *microstructure* pada masing masing spesimen.

Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga variabel, yaitu variable bebas, variable terikat dan variable kontrol.

Variabel Bebas

1. *Holding time* 1 sampai dengan 5 jam.
2. Media pendingin yang berupa air oli dan udara pada *holding time* yang berbeda-beda.

Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah kekerasan, kedalaman difusi karbon dan struktur mikro baja SUS 630 setelah mendapat perlakuan.

Variable Kontrol

Variable kontrol berfungsi sebagai kontrol agar variable bebas tidak dipengarui oleh faktor lain. Variable kontrol dalam penelitian ini adalah sebagi berikut :

1. Spesimen berukuran ¼ lingkaran dengan jari-jari ±2,5 cm dan tebal ±0,6 cm.
2. Kotak karburasi berukuran 9,5 cm x 10 cm x 4,5 cm.
3. Suhu *carburizing* sebesar 1020^0C.
4. Komposisi karbon aktif dengan katalis 80% dan 20%.
5. Konsentrasi barium karbonat yang digunakan sebesar +/- 97%.
6. Konsentrasi karbon yang digunakan +/- 99%.
7. Media pendingin berupa air dan oli sebanyak 0.8 Liter.
8. Oli dengan standard SAE 20W.
9. Air yang digunakan merk AQUA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi uji komposisi kimia untuk mengetahui komposisi kimia dari baja, uji struktur mikro untuk mengetahui perubahan struktur mikro setelah mendapat perlakuan serta kedalaman difusi yang terjadi, serta pengujian kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan material setelah mendapat perlakuan.

Hasil Uji Komposisi Material SUS 630

Hasil pengujian komposisi kimia material SUS 630 pada Tabel 2terlihat bahwa SUS 630 memiliki kadar karbon sebesar 0,026 %. Berdasarkan kadar unsur karbon yang rendah tersebut maka salah satu cara untuk meningkatkan kekerasan material SUS 630 adalah dengan menambahkan unsur karbon didalamnya dan metode yang dapat dipakai salah satunya adalah *pack carburizing*, diharapkan setelah mendapat perlakuan material SUS 630 mengalami peningkatan kekerasan pada permukaan.

Tabel 2. Hasil uji komposisi

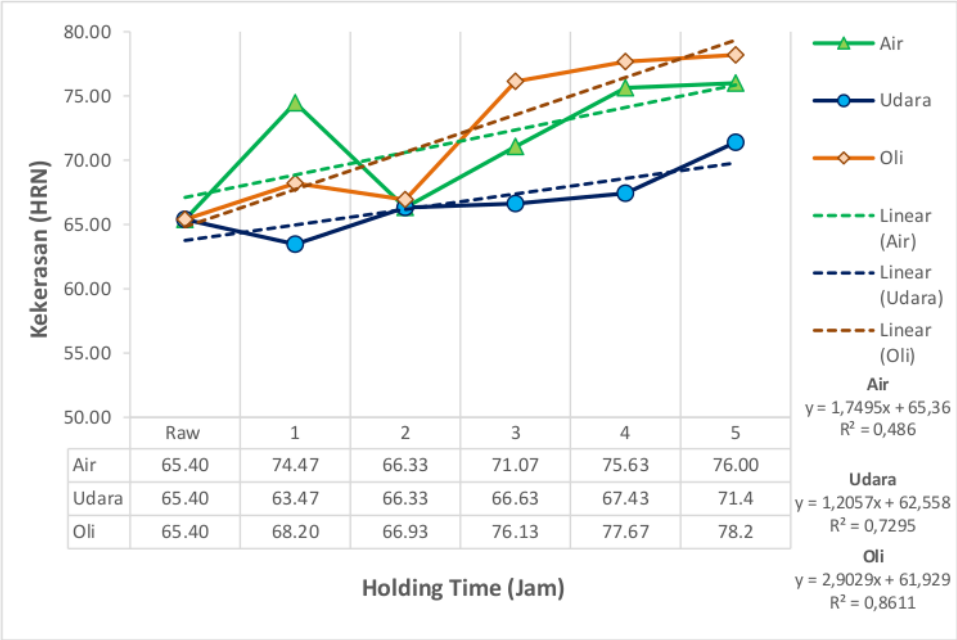
Unsur (%)										
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Co	Al	Ti
0.026	0.243	0.413	0.079	0.019	12.82	3.81	0.16	0.07	0.001	0.011

Hasil Pengujian Nilai Kekerasan

Material SUS 630 yang telah mendapat perlakuan *carburizing* diuji nilai kekerasannya, pengujian kekerasan spesimen SUS 630 menggunakan metode *rockwell superficial* HRN dengan besar pembebanan 15 Kgf masing-masing menghasilkan data yang dapat dilihat pada Gambar2dibawah ini, kemudian dapat dilihat juga pada Gambar tersebut hubungan antara nilai kekerasan yang terbentuk pada masing – masing media pendingin dengan waktu *holding* yang diterapkan.

Nilai kekerasan maksimum pada tiga media pendingin berbeda didapatkan pada lama waktu holding 5 jam yaitu air sebesar 76HRN, udara sebesar 71,4HRN, dan oli sebesar 78,2HRN, sedangkan nilai kekerasan minimum setelah *carburizing* pada masing-masing media pendingin yaitu air dengan lama waktu *holding* 2 jam sebesar 66,33HRN, udara dengan lama waktu *holding* 1 jam sebesar 63,47HRN, dan oli dengan lama waktu *holding* 2 jam sebesar 66,93HRN. Penurunan nilai kekerasan pada holding 2 jam kemungkinan besar terjadi akibat kotak *carburizing* yang tidak terisolasi dengan sempurna sehingga penyerapan karbon kurang maksimal hal ini dibuktikan oleh grafik

hubungan antara kedalaman difusi karbon media pendingin air terhadap lama waktu holding pada Gambar 13 dimana terjadi penurunan kedalaman difusi pada holding 2 jam.



Gambar 2. Grafik Nilai Kekerasan Terhadap *Holding Time*

Nilai (R) dari bobot korelasi yang terbentuk dari pengukuran pada grafik diatas ini dapat di interpretasikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Interpretasi nilai (R)

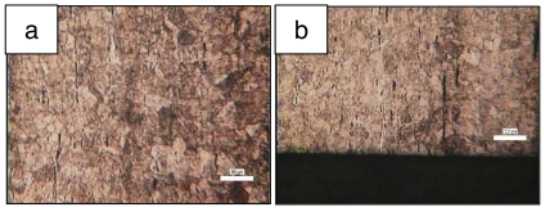
Besar nilai (R)	**Interpretasi**
0,800 - 1,000	Tinggi
0,600 - 0,800	Cukup
0,400 - 0,600	Agak rendah
0,200 - 0,400	Rendah
0,000 - 0,200	Sangat rendah (tidak berkolerasi)

Berdasarkan Tabel3 diperoleh hasil bahwa nilai kekerasan pada pendinginan air terhadap *holding time* yang diterapkan memiliki korelasi agak rendah, hal ini dapat kita ketahui dari nilai (R) yang didapat sebesar 0,486. Kemudian untuk kedalaman difusi pada pendinginan udara terhadap *holding time* yang diterapkan memiliki korelasi yang cukup dengan nilai (R) 0.7295, sedangkan untuk kedalaman difusi pada

pendinginan oli terhadap *holding time* yang diterapkan memiliki korelasi yang tinggi dengan nilai (R) 0,8611. Berdasarkan trendline yang terbentuk dapat disimpulkan bahwa hubungan antara nilai kekerasan pada tiga media pendingin dengan *holding time* berbanding lurus atau semakin lama waktu holding yang diterapkan maka nilai kekerasan semakin meningkat, serta berdasarkan Tabel 3 diperoleh hasil bahwa korelasi tertinggi antara hubungan nilai kekerasan dengan lama waktu *holding* terdapat pada media pendingin oli.

Hasil Uji Struktur Mikro

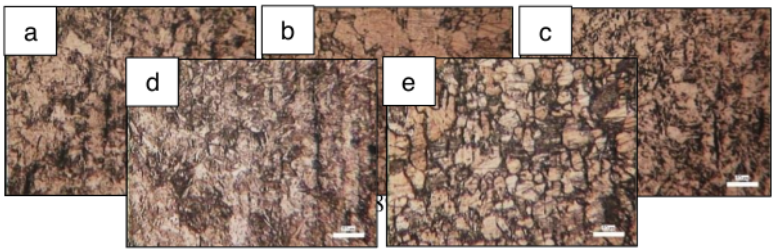
Pengujian struktur mikro dilakukan pada material SUS 630 sebelum material tersebut mendapat perlakuan *pack carburizing*, hasil dari foto struktur mikro tersebut dapat dilihat pada Gambar dibawah ini. Foto struktur mikro diambil dengan pembesaran 200x, dapat dilihat pada 3(a) bahwa struktur mikro yang terbentuk adalah martensite, sedangkan pada Gambar 3(b) bagian tepi dari material SUS 630 masih belum berubah, diharapkan dengan metode *pack carburizing* akan terbentuk lapisan pada bagian tepi dikarenakan bedifusinya unsur karbon kedalam material.



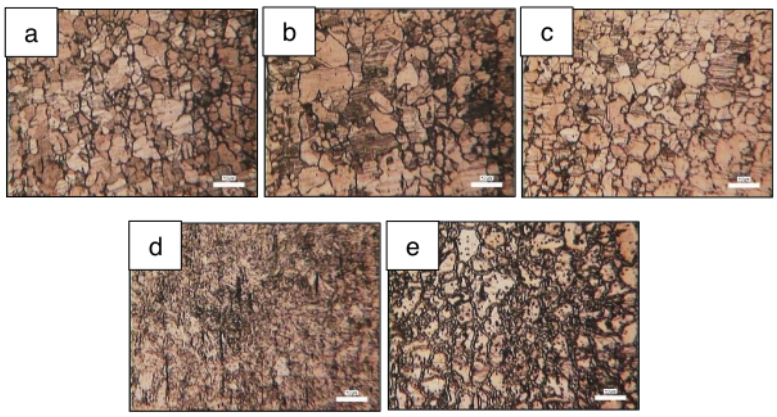
Gambar 3. (a) Struktur mikro bagian tengah material SUS 630 (b) Struktur mikro bagian tepi material SUS 630

Hasil Uji Struktur Mikro Setelah *Carburizing*

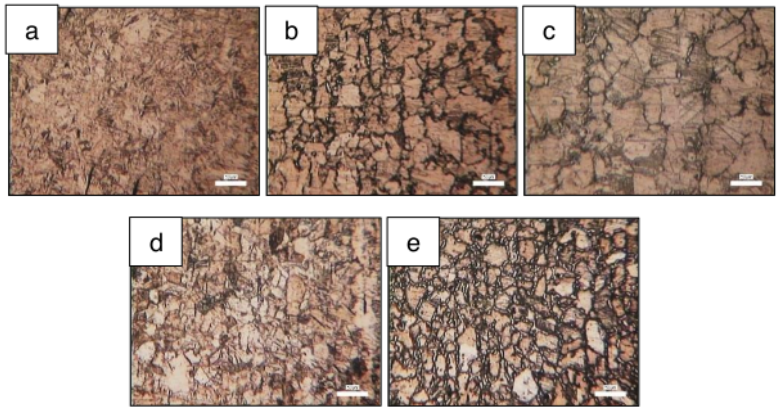
Terlihat pada Gambar 8-10 setelah dilakukan *pack carburizing* dengan variasi lama *holding* dan media pendingin terjadi perubahan struktur mikro dimana terlihat butiran struktur *perlite* yang ditandai dengan warna kehitaman serta *ferrite* yang di tandai dengan warna putih keabu-abuan, terbentuknya struktrur kristal tersebut diakibatkan pemanasan pada suhu austenisasi diatas A1 yaitu 1020°C dapat dilihat pada diagram Fe3C. dimana pada suhu ini struktur baja mengalami transformasi bentuk fasa dan fasa yang terbentuk pada suhu antara 912°C – 1394°C adalah fasa *austenite* dengan struktrur FCC. Selain pemanasan pada suhu di atas A1 laju pendinginan material juga berpengaruh terhadap struktur baja yang terbentuk dimana pendinginan dibawah *critical coling rate* yaitu pendinginan menggunakan air akan menghasilkan struktur *martensite*, pendinginan menggunakan udara akan menghasilkan struktur *perlite*, serta pendinginan menggunakan oli akan menghasilkan struktur *martensite* dan *perlite*.



Gambar 4. Struktur mikro pada media pendingin air (a) *holding* 1 jam (b) *holding* 2 jam (c) *holding* 3 jam (d) *holding* 4 jam (e) *holding* 5 jam



Gambar 5. Struktur mikro pada media pendingin udara (a) *holding* 1 jam (b) *holding* 2 jam (c) *holding* 3 jam (d) *holding* 4 jam (e) *holding* 5 jam

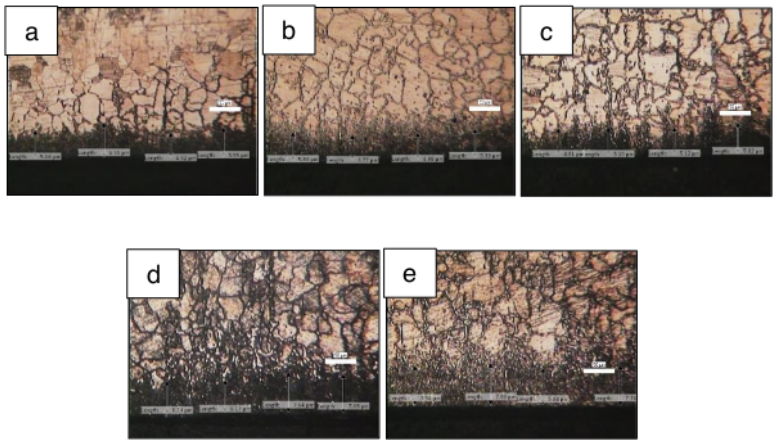


Gambar 6. Struktur mikro pada media pendingin oli (a) *holding* 1 jam (b) *holding* 2 jam (c) *holding* 3 jam (d) *holding* 4 jam (e) *holding* 5 jam

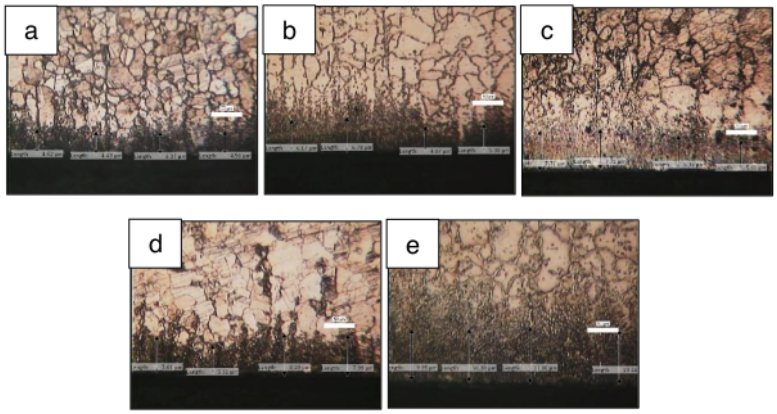
Hasil Pengujian Nilai Kedalaman Difusi

Pada Gambar 3 (b) dapat kita lihat Gambar mikrostruktur dari *raw material* yang belum mengalami perlakuan *pack carburizing*, setelah mengalami perlakuan dapat

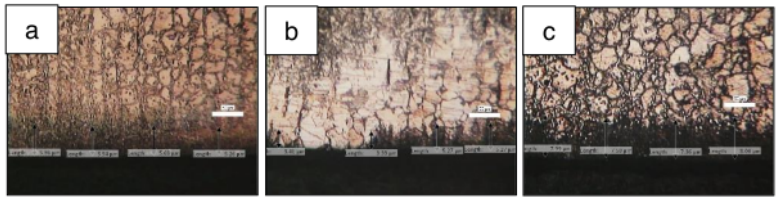
dilihat pada Gambar 7-9 telah terjadi difusi dari karbon ditandai dengan warna hitam.Terlihat pada Gambar bahwa kedalaman difusi pada masing masing material berbeda.

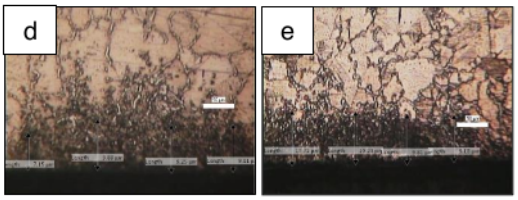


Gambar 7. Struktur mikro difusi karbon pada media pendingin air (a) *holding* 1 jam (b) holding 2 jam (c) *holding* 3 jam (d) *holding* 4 jam (e) *holding* 5 jam



Gambar 8. Struktur mikro difusi karbon pada media pendingin udara (a) *holding* 1 jam (b) *holding* 2 jam (c) *holding* 3 jam (d) *holding* 4 jam (e) *holding* 5 jam

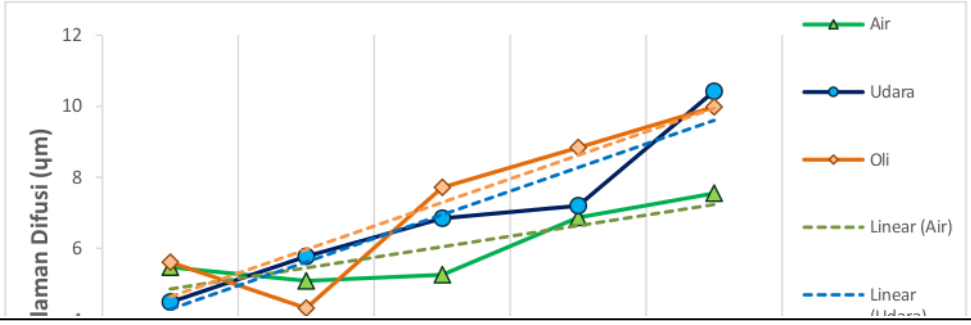




Gambar 9. Struktur mikro difusi karbon pada media pendingin oli (a) *holding* 1 jam (b) *holding* 2 jam (c) *holding* 3 jam (d) *holding* 4 jam (e) *holding* 5 jam

Berdasarkan pengamatan struktur mikro dengan mengukur kedalam difusi yang terbentuk maka diperoleh hubungan antara kedalaman difusi dengan*holding time* yang diterapkan, grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.Nilai kedalaman difusi maksimum pada tiga media pendingin berbeda didapatkan pada lama waktu *holding* 5 jam yaitu air sebesar 7,55ɥm, udara sebesar 10.42ɥm, dan oli sebesar 9,98ɥm, sedangkan nilai kedalaman difusi minimum pada masing-masing media pendingin yaitu air dengan lama waktu *holding* 2 jam sebesar 5,09ɥm, udara dengan lama waktu *holding* 1 jam sebesar 4,49ɥm, dan oli dengan lama waktu *holding* 2 jam sebesar 4,32ɥm.

Dari grafik dibawah ini pada Gambar 14 didapatkan hasil bahwa kedalaman difusi pada pendinginan air terhadap *holding time* yang diterapkan memiliki korelasi yang cukup, hal ini dapat kita ketahui dari nilai (R) yang didapat sebesar 0,7344. Kemudian untuk kedalaman difusi pada pendinginan udara dan oli terhadap *holding time* yang diterapkan memiliki korelasi yang tinggi dengan nilai (R) 0,9028 pada pendinginan udara dan 0,8191 pada pendinginan oli. Berdasarkan trendline yang terbentuk dapat disimpulkan bahwa hubungan antara kedalaman difusi pada tiga media pendingin dengan *holding time* berbanding lurus atau semakin lama waktu holding yang diterapkan maka nilai kedalaman difusi semakin meningkat, serta berdasarkan Tabel 3 diatas dapat disimpulkan bahwa korelasi tertinggi antara hubungan kedalaman difusi dengan lama waktu *holding* terdapat pada media pendingin udara.



Gambar 10. Grafik Kedalaman Difusi Terhadap *Holding Time*

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian serta pembahasan pada penelitian ini maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakinlama *holding time*maka nilai kekerasan semakin meningkat. Nilai kekerasan maksimum pada *holding time* 5 jam dengan nilai 76HRN (air), 71,4HRN (udara), dan 78,2HRN (oli).
2. Terjadinya transformasi bentuk struktur mikro akibat *holding time* dan media pendingin. Struktur mikro yang terbentuk adalah struktur *ferrite, perlite* dan *martensite*.
3. Semakin lama waktu *holding time* maka nilai kedalaman difusi semakin meningkat. Nilai kedalaman difusi maksimum pada *holding time* 5 jam dengan nilai 7.55 ɥm (air), 10.42 ɥm (udara), dan 9.98 ɥm (oli).

DAFTAR PUSTAKA

Achmad Kusairi Samlawi, Modul Praktikum Pengujian Material, Fakultas Teknik Mesin ULM, Banjarnbaru.

ASM Handbook Volume 4, Heat Treating

ASM Handbook Volume 9, Metallography and Microstructures

Avner, Sidney, H., 1974, *Introduction to physical metalurgy, 2nd Edition, Mc Graw-Hill Publishing Co. Ltd*, Singapore.

Bambang Kuswanto, 2010, Pengaruh Perbedaan Ukuran Butir Arang Tempurung Kelapa-Barium Karbonat Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Material Baja St 37 Dengan Proses *Pack Carburizing*, Semarang.

Budinski, K.G., and Budinski, M.K., 1999, *Engineering Materials, 6th Edition, Prentice – Hall Inc.*, New Jersey.

Clark, D.S., Varney W.R., 1962, *Physical Metallurgy for Engineering, D. Van Nostrand Company, INC.*

Darmanto. 2006. Pengaruh Holding Time Terhadap Sifat Kekerasan Dengan *Refining The Core* Pada Proses *Carburizing* Material Baja Karbon Rendah. Traksi. Vol. 4. No. 2.

Djaprie, S., 1983, Ilmu Dan Teknologi Bahan, Erlangga, Jakarta.

Hafni dan Nurzal. 2015. Pengaruh Waktu Tahan Proses *Pack Carburizing* Pada Baja Karbon Rendah Dengan Menggunakan *Calcium Carbonat* Dan Arang Tempurung Kelapa Di Tinjau Dari Struktur Micko. Jurnal Teknik Mesin Vol. 5, No. 1, Hal. 6 -11.

Hafni. 2015. Pengaruh Waktu Tahan Proses Pack *Carburizing* Pada Baja Karbon Rendah Dengan Menggunakan *Calcium Carbonat* Dan Arang Tempurung Kelapa, Di Tinjau Dari Kekerasan. Jurnal Teknik Mesin Vol. 5, No. 2, Hal. 108-112.

Harry Chandler, *Heat Treater's Guide Practice and Procedures for Iron and Steels*.

Jonika Asmarani, 2012, Pengerasan Permukaan Baja Karbon ST 40 Dengan Metode Nitridasi Dalam Larutan Kalium Nitrat, Semarang.

Karmin, Sairul Effendi, Firdaus, dkk. 2018. Analisa Perubahan Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Multi Quenching Terhadap Hasil Pack Carburizing Baja Karbon Rendah. Jurnal Austenit Volume 10, No. 1.

Masyrukan. 2006. Penelitian Sifat Fisis Dan Mekanis Baja Karbon Rendah Akibat Pengaruh Proses Pengarbonan Dari Arang Kayu Jati. Media Mesin, Vol. 7, No. 1, Hal. 40-46.

Ömer Faruk Murathan and Mehmet Remzi Abul, *MATE 405 Heat Treatment and Surface Hardening of Materials*.

Schonmetz, Otto. 1985. Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam. Bandung: Angkasa.

Smallman, R.E., Bishop, R.J., 2000, Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material, Erlangga, Jakarta.

Smith, W.F., 1996, *Principles of Material Science and Engineering, 3rd Edition, McGraw-Hill Inc.*, New York.

Suratman, R., 1994, Panduan Proses Perlakuan Panas, Lembaga Penelitian ITB, Bandung.

William D. Callister, Jr. *Fundamentals of Materials Science and Engineering. United State of America*.

c.6._3260-8143-1-PB_Fitonia-Rudi_S.pdf

ORIGINALITY REPORT

8%	%	8%	%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Ferry Budhi Susetyo, Siska Titik Dwiyati, Muhammad Yazid, Yos Nofendri. "Efek Perlakuan Panas pada Substrat Baja Karbon dan Lapisan Hasil Pengerasan Permukaan dengan Metoda MMAW", MECHANICAL, 2020 Publication	1%
2	MANONUKUL, Anchalee, Warakij LIKITYINGWARA, Phataraporn RUNGKIATNAWIN, Nattapol MUENYA, Suttha AMORANAN, Witoo KITTINANTAPOL, and Suphachai SURAPUNT. "Study of Recycled and Virgin Compounded Metal Injection Moulded Feedstock for Stainless Steel 630", Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, 2007. Publication	1%
3	Ripdayana Ripdayana, Ahmad Ridhay, Erwin Abdul Rahim. "PEMBUATAN Carboxymethyl cellulose (CMC) DARI PELEPAH NANAS (Ananas cosmosus Merr.)", KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 2019 Publication	1%

4	Andreas Luki Indratmoko, Eko Nugroho, Asroni Asroni, Eko Budiyanto. "Pengaruh Holding Time dan media pendingin pada proses quenching terhadap kekerasan dan kekuatan Impact pegas daun sebagai alternatif pengganti pisau slicer penuai tebu", ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur, 2020 Publication	1 %
5	Poppy Puspitasari, Andoho Andoko, Heru Suryanto, Puput Risdanareni, Sandy Yudha. "Hardness improvement on low carbon steel using pack carbonitriding method with holding time variation", MATEC Web of Conferences, 2017 Publication	1 %
6	Muh Anhar. "PROSES KARBURASI PADA BAJA KARBON RENDAH DENGAN MENGGUNAKAN KARBON ARANG KAYU BELIAN DAN ARANG KAYU AKASIA", INOVTEK POLBENG, 2019 Publication	<1 %
7	Nana Suryapermana, Yanti Mariah. "HUBUNGAN KECERDASAN EMOSIONAL DAN MOTIVASI BELAJAR DENGAN HASIL BELAJAR SISWA PADA MATA PELAJARAN AKIDAH AKHLAK", Geneologi PAI: Jurnal Pendidikan Agama Islam, 2020 Publication	<1 %

8	Hajar Isworo, Rendy Zakaria. ELEMEN : JURNAL TEKNIK MESIN, 2021 Publication	<1 %
9	Sumar Hadi Suryo, Rachmat Suryadi Sastra, Muchammad, Harto. "Optimization of bucket tooth excavator design using topology optimization and finite element method", Journal of Physics: Conference Series, 2021 Publication	<1 %
10	Z Mansjur, Arrijani, M F Suharto. "Effect of coating time and protective current on thickness of paint layer of Steel ST-37 by continuous painting", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019 Publication	<1 %
11	Lothar Hasenberg, Roman Bender. "Ferritic chromium steels with more than 12 % chromium", Wiley, 2008 Publication	<1 %
12	Ika Novia Anggraini, Wisnu Sri Nugroho, Reza Satria Rinaldi, Afriyastuti Herawati. "Analisis Pengaruh Tegangan Terhadap Karakteristik Kerja Sel Electrolyzer Dengan Variasi Bahan Elektroda", JURNAL AMPLIFIER : JURNAL ILMIAH BIDANG TEKNIK ELEKTRO DAN KOMPUTER, 2019 Publication	<1 %

13	Krist - Waas. "Pengaruh Holding Time (Waktu Tahan) Dan Variasi Media Quenching (Pendinginan) Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah ST 42 Pada Proses Pengkarbonan Padat Menggunakan Arang Batok Biji Pala (Myristica fagrans)", JURNAL SIMETRIK, 2020 Publication	<1 %
14	Mauricio Ortiz-Gutiérrez, Arturo Olivares-Pérez, Edgar Alvarado-Méndez, Mónica Trejo-Durán, Marco Antonio Salgado-Verduzco. "Norland Optical Adhesive 72® as phase holographic material", Journal of Applied Research and Technology, 2015 Publication	<1 %
15	Sujita Sujita. "Proses Pack Carburizing dengan Media Carburizer Alternatif Serbuk Arang Tongkol Jagung dan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara", MECHANICAL, 2016 Publication	<1 %
16	A. U. L. S. Setyadi, F. Nurosyid, Y. Iriani. "Influence of holding time annealing process on the microstructure and optical properties of barium titanate (BaTiO3) thin film using the sol-gel method", AIP Publishing, 2019 Publication	<1 %
17	Masganti Sit, Muhammad Shaleh Assingkily. "Persepsi Guru tentang Social Distancing pada	<1 %

Pendidikan AUD Era New Normal", Jurnal Obsesi : Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini, 2020
Publication

18	Mohamed H. Frihat. "Effect of Heat Treatment Parameters on the Mechanical and Microstructure Properties of Low-Alloy Steel", Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology, 2015 Publication	<1 %
19	A Osma. "A statistical approach to comparing wheel hub forging processes", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering, 12/01/2009 Publication	<1 %

Exclude quotes	Off	Exclude matches	Off
Exclude bibliography	Off		