



## **ANALISA PROSES *PACK CARBURIZING* PADA RAW MATERIAL AISI 1020 TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN DAN STRUKTUR MIKRO DENGAN VARIASI TEMPERATUR DAN *HOLDING TIME* MENGGUNAKAN MEDIA PENDINGIN OLI**

**Addie Restu Firmansyah, Septian Chandra Putra, Edi Santoso**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya  
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia  
email: [addierestu778@gmail.com](mailto:addierestu778@gmail.com) dan [septa.saputra09@gmail.com](mailto:septa.saputra09@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Baja karbon rendah sering digunakan sebagai bahan dasar dari spare part otomotif yang beredar di pasaran. Akan tetapi harga dari sparepart pabrikan yang beredar dipasaran sangat mahal. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini untuk menambah kualitas baja karbon yang tidak kalah dengan buatan pabrikan dimana harga yang relatif terjangkau dengan cara melakukan *pack carburizing*.

Penelitian ini menggunakan metode *pack carburizing*, baja AISI 1020 sebagai material awal dan menggunakan serbuk arang batok kelapa halus sebagai sumber karbon dicampur dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sebagai *energizer*. *Pack carburizing* menggunakan variasi temperatur  $850^\circ\text{C}$ ,  $875^\circ\text{C}$ ,  $900^\circ\text{C}$  dengan *holding time* 40 menit, 50 menit, 60 menit, bertujuan untuk mengetahui bagaimana hasil dari kekerasan dan struktur mikro serta nilai *case depth* terhadap variasi antara temperatur dengan *holding time*. Dan juga menggunakan oli SAE 20w-40 sebagai media *quenching*.

Hasil kekerasan tertinggi diperoleh dari spesimen dengan temperatur pemanasan  $900^\circ\text{C}$  *holding time* 60 menit, dengan rata-rata kekerasan 54,21 HRC dan juga mendapatkan nilai *case depth* 0,51mm. Disertai fase yang terbentuk yaitu 61% perlit 39% ferit.

**Kata kunci:** *Pack Carburizing, Quenching, AISI 1020, Case Depth.*

### **ABSTRACT**

*Low carbon steel is often used as a basic material for automotive spare parts on the market. However, the price of the manufacturer's spare parts on the market is very expensive. Therefore, this study aims to improve the quality of carbon steel that is not inferior to those made by manufacturers where the price is relatively affordable by carrying out pack carburizing.*

*This study uses the pack carburizing method, AISI 1020 steel as the starting material and uses fine coconut shell charcoal powder as a carbon source mixed with  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  as an energizer. Pack carburizing using temperature variations of  $850^\circ\text{C}$ ,  $875^\circ\text{C}$ ,  $900^\circ\text{C}$  with holding times of 40 minutes, 50 minutes, 60 minutes, aims to find out how the results of hardness and microstructure as well as case depth values on variations between temperature and holding time. And also use SAE 20w-40 oil as quenching medium.*

*The highest hardness results were obtained in specimens with a heating temperature of  $900^\circ\text{C}$  holding time of 60 minutes, with an average hardness value of 54.21 HRC and also a case depth value of 0.51mm. Accompanied by the phase formed is 61% pearlite 39% ferrite.*

**Keywords:** *Pack Carburizing, Quenching, AISI 1020, Case Depth.*

## PENDAHULUAN

Kawasan modern sangat bergantung pada pemanfaatan baja, misalnya pemanfaatan baja pada bagian-bagian mesin dan pengembangannya. Ini menunjukkan bahwa saat ini baja mengambil peran penting dalam kemajuan mekanis dan kehidupan manusia. Dibutuhkan siklus perawatan pada baja karbon untuk mendapatkan perubahan sifat mekanik dan sifat sebenarnya dari baja dengan tujuan agar dapat digunakan dengan baik secara kebutuhan. Selanjutnya, baja karbon diharapkan dapat disesuaikan atau dikembangkan lebih lanjut sifat-sifatnya seperti kekerasan permukaan dan perlindungan keausan dari korosi.

Melihat realitas di atas, dapat dipahami bahwa SDM harus lebih imajinatif dan berguna untuk menyampaikan item yang lebih fluktuatif. Terdapat prinsip pertimbangan ekonomis”meskipun murah tetapi tetap berfungsi sesuai standart aplikasinya”.

Dengan banyaknya jenis baja yang tersedia, ini telah memenuhi kebutuhan daerah setempat di bidang pembangunan dan permesinan. Dalam aplikasi aplikasi di area pembangunan, baja karbon banyak digunakan di area struktur. Sedangkan di bidang permesinan baja karbon banyak dimanfaatkan sebagai bahan untuk produksi barang *part*, poros dan lain-lain.

Dalam banyak aplikasi, keuletan atau ketangguhan diharapkan terlepas dari sifat ketahanan ausnya. Dalam masalah ini, penting untuk mengarahkan sistem penambahan nilai kekerasan dengan cara *heat treatment* pada suatu baja yang ditentukan untuk memperoleh tingkat kekekerasan pada daerah yang akan ditetapkan seperti, pada daerah permukaan mendapatkan nilai ketahanan aus yang tinggi dan pada daerah inti mendapatkan sifat keuletan dan ketangguhan yang pas.

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui hasil dari proses *pack carburizing* pada AISI 1020 terhadap kekerasan permukaan dan struktur mikro dengan variasi temperatur dan *holding time* menggunakan oli sebagai media pendingin.

Terdapat cara agar memperoleh nilai kekerasan yang meningkat pada bagian permukaan suatu baja dengan cara menambahkan komponen karbon yang dipanaskan pada suhu antara ( $850^{\circ}\text{C}$  -  $1000^{\circ}\text{C}$ ) dengan mengkombinasikan penahanan waktu pada suhu tersebut pada jangka waktu yang telah direncanakan. Dengan siklus tersebut nantinya membawa karbon masuk pada bagian permukaan dan membentuk ketebalan karbon.

Penelitian sebelumnya tentang *heat treatment* metode *pack carburizing* antara lain Shaifudin, (2018) meneliti tentang pengoptimalisasi difusi karbon pada baja berjenis ST 42 dengan temperatur  $950^{\circ}\text{C}$  dengan sumber karbon dari arang tempurung kelapa mendapatkan nilai kekerasan sebesar 815,39 VHN. Robbina, (2012) meneliti tentang efek penggunaan berbagai macam activator terhadap perubahan struktur mikro dan nilai kekerasan dengan proses perlakuan panas pada permukaan menggunakan metode *pack carburizing* pada baja berjenis S45C . Macam katalis yang digunakan yaitu  $\text{BaCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ , dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  menggunakan perbandingan 75% arang karbon , 25% pada setiap katalis. Mendapatkan nilai kekerasan tertinggi didapatkan dengan menggunakan campuran 75%  $\text{BaCO}_3$  dan 25% arang karbon sebesar 222,8 VHN. Selanjutnya Beta Hartono, (2020) menyimpulkan, panjang waktu penahanan akan semakin dalam karbon yang berdifusi pada permukaan baja selama proses pemanasan berlangsung dan nilai kekerasan pada permukaan bertambah keras akibat karbon yang berdifusi. Rabiatul Adawiyah, (2014) menggunakan media pendingin yang berbeda akan mempengaruhi laju pendinginan dalam pembentukan struktur martensit.

Terdapat tiga jenis macam baja menurut penggunaannya yakni karbon rendah mengandung karbon kurang dari 0,1-0,25%, karbon medium mengandung karbon 0,25%-0,8%. Dan karbon tinggi mengandung karbon sebesar 0,8-2%.

ASM Metals Handbook, (1991) Penambahan nilai kekerasan di permukaan (*Surface Hardening*) adalah yaitu proses yang

hanya memfokuskan penambahan kekerasan pada permukaan.

Karburasi yaitu pemanasan dengan suhu yang melebihi titik kritis pada suatu baja atau melebihi garis A<sub>3</sub> pada diagram Fe<sub>3</sub>C yang mana pada kondisi sekitar yang seluruhnya terpapar oleh karbon. Saat fase yang dibentuk berupa austenit, baja dapat melarutkan karbon sebesar 2,08%.

*Pack Carburizing* merupakan karburasi terhadap lapisan luar spesimen uji, memanfaatkan serbuk arang sebagai media penghasil karbon. Bahan karburasi yang paling mudah didapatkan adalah arang batok kelapa. Spesimen uji yang akan dikarburasi ditempatkan didalam kontainer karburasi yang berisi dengan bahan karburasi. Selain itu, spesimen uji dikubur bersama bahan karburasi dan spesimen uji yang berbeda ditempatkan di atasnya, dll.

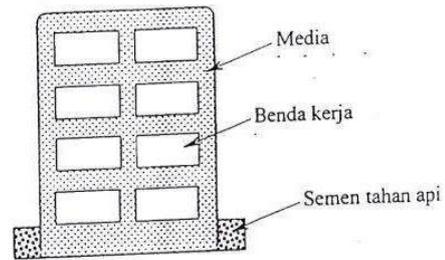
Nilai kandungan persentase karbon untuk macam bahan yang akan dipilih dan dipergunakan untuk sumber karbon berbeda-beda. Baik tidaknya nilai *case depth* di tentukan dengan seberapa banyak kandungan persentasi karbon dari sumber karbon yang akan digunakan.

*Energizer* dicampur pada arang sebagai zat pengaktif agar mempercepat proses karburasi. Pada umumnya *energizer* yang baik digunakan antara lain barium carbonate, natrium karbonat dengan perbandingan prosentase 10%-40% berat arang tergantung dari kebutuhan.

Selama proses karburasi terjadi reaksi sebagai berikut:

CO<sub>2</sub> bercampur dengan C (arang) menjadi 2CO

Kesetimbangan reaksi cenderung kekanan dikarenakan temperatur yang semakin tinggi dan kandungan CO semakin banyak. 2CO menjadi CO<sub>2</sub> bercampur dengan C dan C larut kedalam baja.



**Gambar 1.** Mekanisme *Pack Carburizing*

Amstead, (1979) bahwa “. Proses karburasi padat umumnya diterapkan untuk mendapatkan lapisan yang tebalnya antara 0,75 – 4 mm.

Kedalaman lapisan karburasi (*case depth*) terdapat beberapa faktor yang menyebabkan hasil dari kedalaman lapisan *pack carburizing* yaitu waktu tahan, temperatur pemanasan, komposisi dari media karburasi dan besar kandungan karbon yang terdapat pada baja itu sendiri. Terdapat persamaan yang bertujuan untuk menghitung kedalaman lapisan karburasi yaitu dari persamaan Harris (Boyer & Gall, 1985) :

$$\text{Case depth} = . \frac{31.6 \cdot \sqrt{t}}{10^{(6700/T)}} \text{ (inch)}$$

Diketahui : T → suhu

t → waktu (jam)

Pada rumus di atas memperlihatkan jika kedalaman lapisan karburasi ditentukan oleh tingginya temperatur yang digunakan. Akan tetapi, kandungan karbon pada bagian inti akan semakin rendah.

Total *case depth* (kedalaman difusi) diartikan sebagai total kedalam karburasi dimulai dari permukaan hingga nilai kandungan karbon lebih tinggi 0,04% dari kandungan karbon pada *raw material*. Prabudev, K.H, (1995) Efektif *case depth* merupakan kemampuan karbon yang berdifusi dari permukaan sampai ke dalam benda, yang mana lebih rendah 15% kekerasannya dari nilai kekerasan permukaan. 50 HRC atau 513 HV adalah nilai yang sudah umum dipakai untuk menentukan batas kekerasannya.

### PROSEDUR PENELITIAN

Pada penelitian kali ini untuk media karburasi menggunakan arang sebagai sumber karbon aktif dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sebagai energizer dengan perbandingan 80% : 20%. Dan juga menggunakan baja karbon yaitu AISI 1020 (*low carbon steel*) dengan unsur kimia. Penelitian ini menggunakan metode karburasi padat (*pack carburizing method*). Menggunakan serbuk arang tempurung kelapa halus.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (natrium karbonat) di campur dengan komposisi 20% dari berat karbon. Spesimen dimasukkan kedalam kotak sementasi yang sudah di tambahkan campuran dari *energizer* dan serbuk arang tempurung kelapa halus. Setelah itu kotak sementasi dimasukkan kedalam tungku pemanas dengan variasi suhu  $850^\circ\text{C}$ ,  $875^\circ\text{C}$ ,  $900^\circ\text{C}$  dengan variasi *holding time* 40 menit, 50 menit, 60 menit. Penggunaan temperatur pada proses pemanasan dipilih sesuai kandungan karbon dari baja yaitu sebesar 0.2%. Budinski, (1999) Difusi atom akan

terjadi ketika suhu mencapai 0,5 dari *melting point*. Setelah melalui proses pemanasan pada spesimen dilakukan pengujian struktur mikro pada spesimen yang bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada spesimen setelah melalui proses pemanasan dan hasil *case depth* yang terbentuk. Setelah itu, dilakukan pengujian kekerasan *rockwell* bertujuan untuk mengetahui hasil nilai kekerasan pada spesimen uji. Dimana terdapat dua titik pengujian kekerasan yaitu dibagian permukaan dan bagian inti.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan dua macam metode, yakni : pengujian *metallography* (bagian permukaan dan bagian inti), pengujian kekerasan (bagian permukaan dan bagian inti).

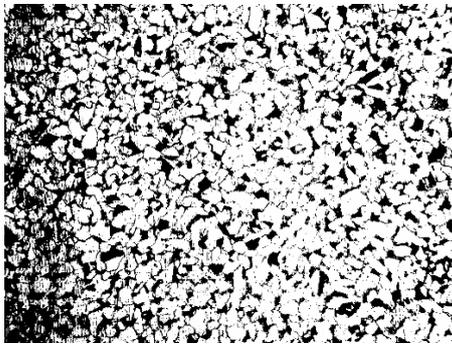
Data hasil pengujian kekerasan beserta variasi *holding time* yang dipilih dari pengujian ini tertera pada tabel 1.

Spesimen	Temperatur (C)	Holding Time	Nilai kekerasan dan rata - rata (HRC)			
			Titik 1	Rata - rata	Titik 2	Rata - rata
X1	850	40	33,4	33,35	38,4	37,9
X2			33,25		37,1	
X3			33,4		38,2	
X4			35,15		41,25	
X5			34,65		41,2	
X6			35,35		41,3	
X7			35,44		42,2	
X8			35,25		42	
X9			35,19		41,85	
Y1	875	40	34,25	34,19	42,6	42,58
Y2			34,22		42,45	
Y3			34,12		42,7	
Y4			35,15		43,2	
Y5			35,15		43,35	
Y6			35,2		43,6	
Y7			42,62		43,85	
Y8			42,35		44,5	
Y9			42,44		43	
Z1	900	40	41,35	41,27	53,2	53,66
Z2			41,2		54	
Z3			41,26		53,8	
Z4			41,18		53,65	
Z5			41,26		52,85	
Z6			41,35		53,28	
Z7			42,16		54	
Z8			42,35		54,15	
Z9			42,55		54,5	
O	Spesimen Tanpa perlakuan		29,1		29,4	

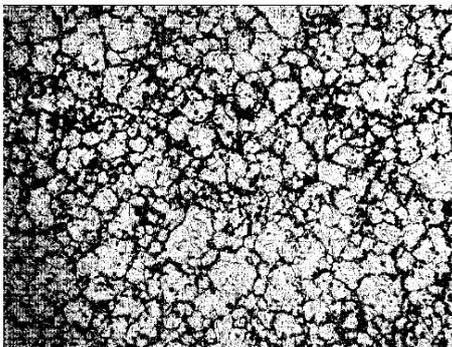
**Tabel 1.** Kodefikasi spesimen, variasi temperatur, variasi *holding time* dan hasil pengujian kekerasan HRC.

Kekerasan tertinggi didapat pada temperatur 900<sup>0</sup>C dengan *holding time* 60 menit pada titik pengujian 1 ataupun titik pengujian 2. Hasil nilai rata-rata kekerasan terendah pada titik pengujian 1 ataupun titik pengujian 2 didapat pada variasi temperatur 850<sup>0</sup>C dan *holding time* 40 menit.

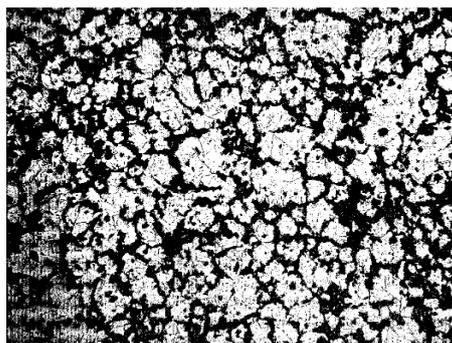
Pengujian struktur mikro pada spesimen O, X2, X5, X8, Y2, Y5, Y8, Z2, Z5, Z8 memakai mikroskop optik dengan pembesaran 365x. Hasil analisa struktur mikro yang didapat setelah proses *pack carburizing* dapat diamati pada gambar 3 sampai dengan 11.



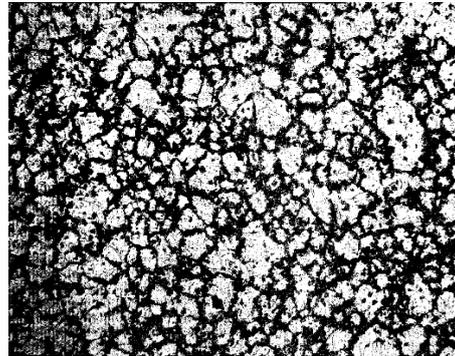
**Gambar 2.** Struktur Mikro Material Tanpa Perlakuan.



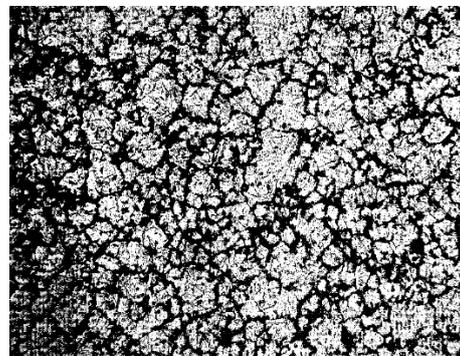
**Gambar 3.** Struktur Mikro Material dengan Suhu 850<sup>0</sup>C *Holding Time* 40 Menit.



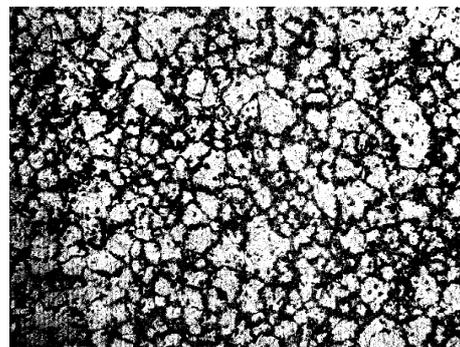
**Gambar 4.** Struktur Mikro Material dengan Suhu 850<sup>0</sup>C *Holding Time* 50 Menit.



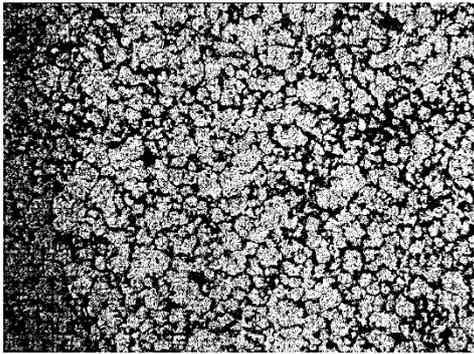
**Gambar 5.** Struktur Mikro Material dengan Suhu 850<sup>0</sup>C *Holding Time* 60 Menit.



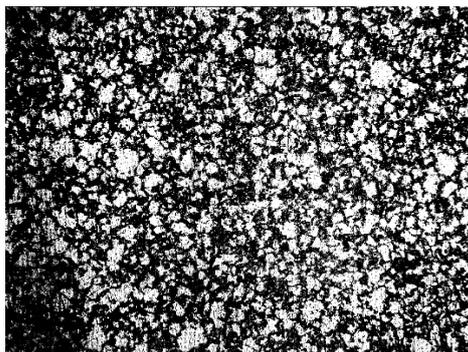
**Gambar 6.** Struktur Mikro Material dengan Suhu 875<sup>0</sup>C *Holding Time* 40 Menit.



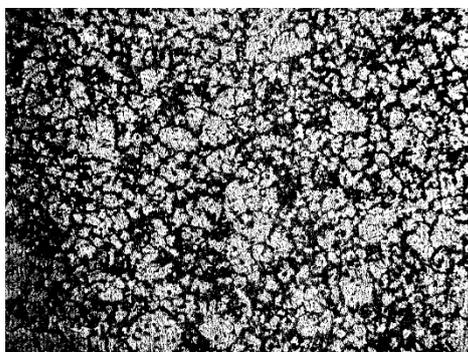
**Gambar 7.** Struktur Mikro Material dengan Suhu 875<sup>0</sup>C *Holding Time* 50 Menit.



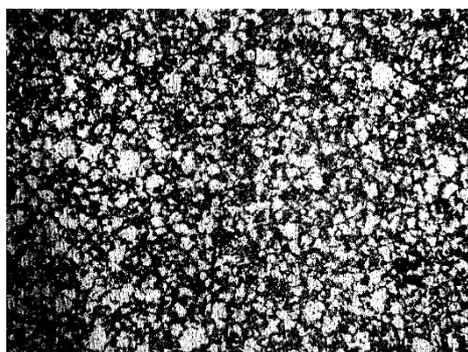
**Gambar 8.** Struktur Mikro Material dengan Suhu 875<sup>0</sup>C Holding Time 60 Menit.



**Gambar 9.** Struktur Mikro Material dengan Suhu 900<sup>0</sup>C Holding Time 40 Menit.



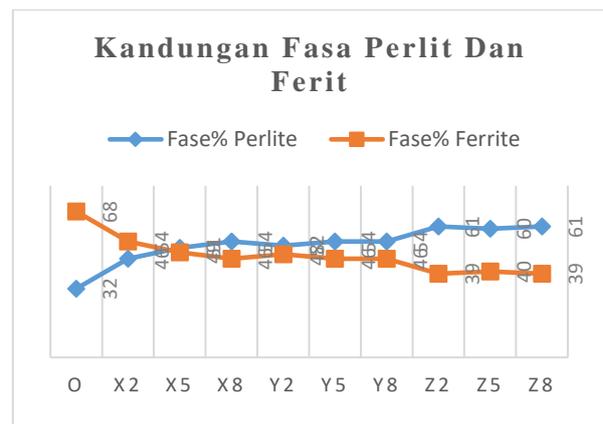
**Gambar 10.** Struktur Mikro Material dengan Suhu 900<sup>0</sup>C Holding Time 40 Menit.



**Gambar 11.** Struktur Mikro Material dengan Suhu 900<sup>0</sup>C Holding Time 50 Menit.

Hasil yang diperoleh setelah melakukan pengujian struktur mikro, bahwa terlihat jelas sebagaimana perubahan kandungan fasa awal yang terbentuk pada spesimen yaitu 32% perlit dan 68% ferit, dimana persentase fasa ferit lebih banyak daripada persentase fasa perlit dan setelah melalu proses pemanasan rata – rata pada setiap spesimen persentase fasa perlit naik dan persentase ferit menjadi turun.

Setelah selesai melakukan pengujian struktur mikro, dilanjutkan dengan melakukan analisis kandungan fase atau perbandingan kandungan fase yang terbentuk setelah dilakukan proses pemanasan dengan menggunakan software. Berikut ini adalah data yang dihasilkan setelah menganalisis gambar menggunakan software pengolah gambar.

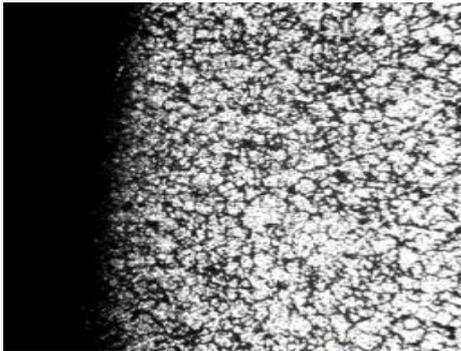


**Gambar 12.** Grafik Kandungan Fasa Perlit dan Ferit

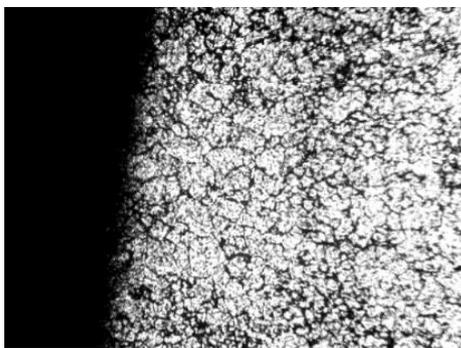
Gambar 12. menunjukkan bahwa kandungan fasa perlit bertambah ketika spesimen mendapatkan perlakuan panas sedangkan fasa ferit mengalami penurunan setelah mendapatkan proses perlakuan panas. Perlit itu sendiri bersifat keras dan getas sedangkan ferit bersifat ulet. Meningkatnya jumlah struktur perlit jika dibandingkan dengan struktur mikro material tanpa perlakuan dikarenakan dipengaruhi adanya jumlah kandungan karbon yang bertambah dan berdifusi ke dalam material selama proses pemanasan, karena penambahan unsur dari *activator* yang berfungsi sebagai *booster*

agar mempercepat jalannya proses difusi karbon dan membentuk kandungan fasa perlit yang semakin bertambah. Dan juga kekerasan pada material uji akan bertambah dari sebelumnya dan proses pendinginan cepat mempengaruhi sifat fisis dari baja.

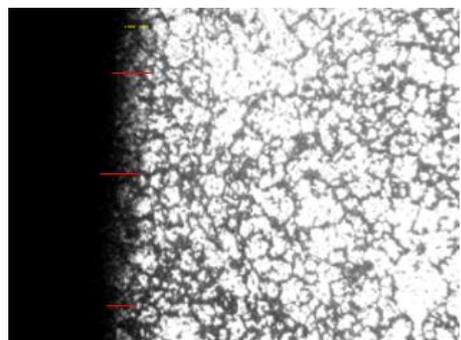
Pada penelitian ini didapatkan hasil *case depth* yang berbeda – beda pada setiap variasi. Analisa *case depth* dapat di lihat pada gambar 13. sampai dengan 21.



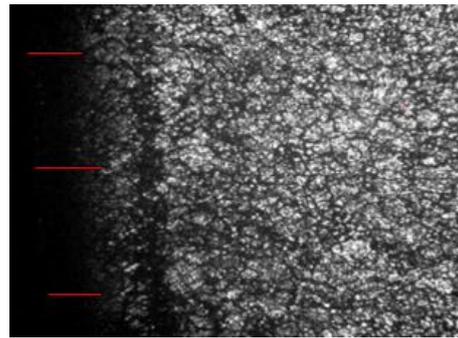
**Gambar 13.** Kedalaman *Case Depth* dengan suhu 850°C *Holding Time* 40 Menit Sebesar -mm.



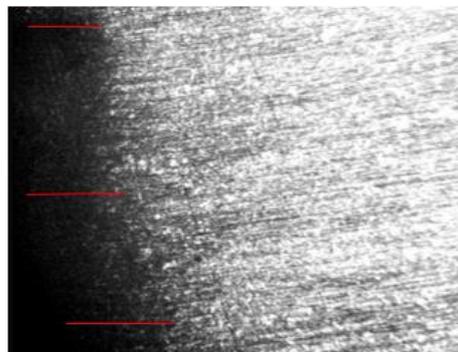
**Gambar 14.** Kedalaman *Case Depth* dengan Suhu 850°C *Holding Time* 50 Menit Sebesar -mm.



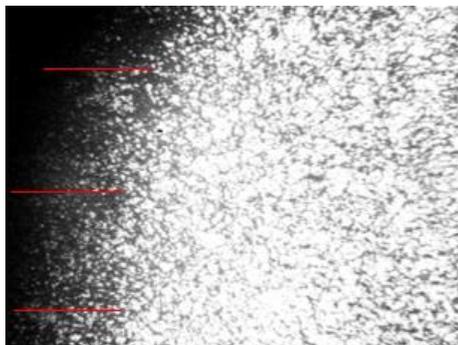
**Gambar 15.** Kedalaman *Case Depth* dengan Suhu 850°C *Holding Time* 60 Menit Sebesar 0,048 mm.



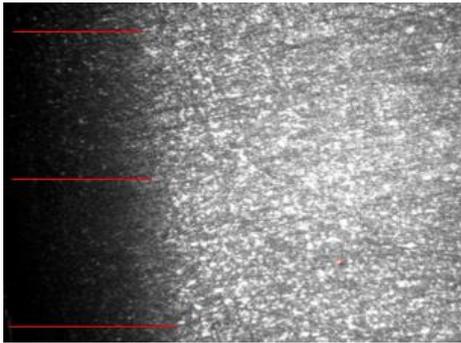
**Gambar 16.** Kedalaman *Case Depth* dengan Suhu 875°C *Holding Time* 40 Meint Sebesar 0,15 mm.



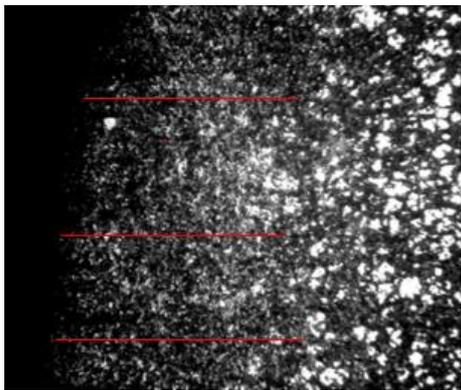
**Gambar 17.** Kedalaman *Case Depth* dengan Suhu 875°C *Holding Time* 50 Meint Sebesar 0,18 mm.



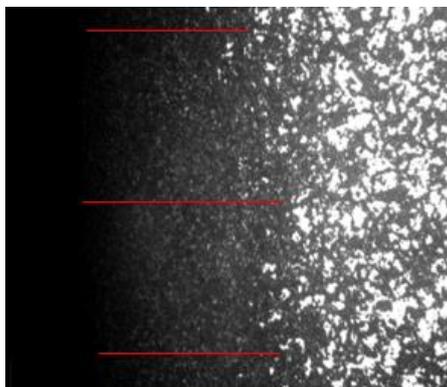
**Gambar 18.** Kedalaman *Case Depth* dengan Suhu 875°C *Holding Time* 60 Menit Sebesar 0,29 mm.



**Gambar 19.** Kedalaman *Case Depth* dengan Suhu 900°C *Holding Time* 40 Menit Sebesar 0,38 mm.



**Gambar 20.** Kedalaman *Case Depth* dengan Suhu 900°C *Holding Time* 50 Menit Sebesar 0,46 mm.

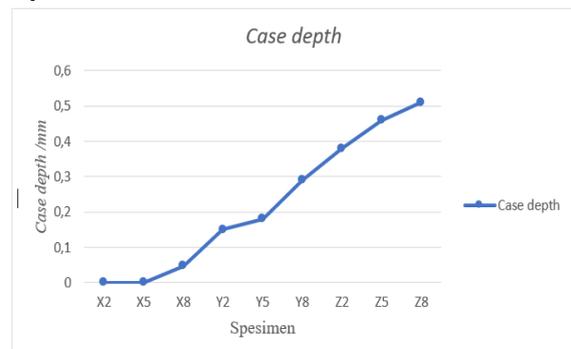


**Gambar 21.** Kedalaman *Case Depth* dengan Suhu 900°C *Holding Time* 60 Menit Sebesar 0,51 mm.

Kode Spesimen	Temperatur (Celcius)	Holding Time (menit)	Case Depth (mm)
X2	850	40	-
X5	850	50	-
X8	850	60	0,048
Y2	875	40	0,15
Y5	875	50	0,18
Y8	875	60	0,29
Z2	900	40	0,38
Z5	900	50	0,46
Z8	900	60	0,51

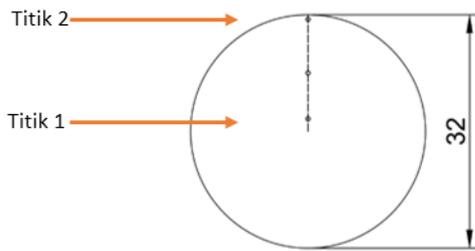
**Tabel 2.** Hasil *Case Depth* pada setiap spesimen.

Dari data yang didapat, bahwasannya jarak karbon yang berdifusi semakin dalam dengan menggunakan temperatur 900°C dan *holding time* 60 menit karena partikel karbon akan terserap banyak pada suhu tinggi dan juga semakin lama *holding time* yang digunakan semakin dalam penetrasi atom karbon ke dalam baja. Dan pada kasus spesimen X5 dan X2 jarak *case* tetapi kandungan perlit dan ferit meningkat dibandingkan spesimen tanpa perlakuan. Berikut adalah gambar grafik dari hasil *case depth*.



**Gambar 22.** Grafik *Case Depth*

Uji kekerasan menggunakan metode kekerasan *rockwell*. Parameter pengujian kekerasan dilakukan pada bagian inti (titik 1) dan bagian permukaan / *surface* (titik 2). Pada gambar 23 dapat dilihat letak masing-masing titik parameter pengujian kekerasan yang akan diuji.

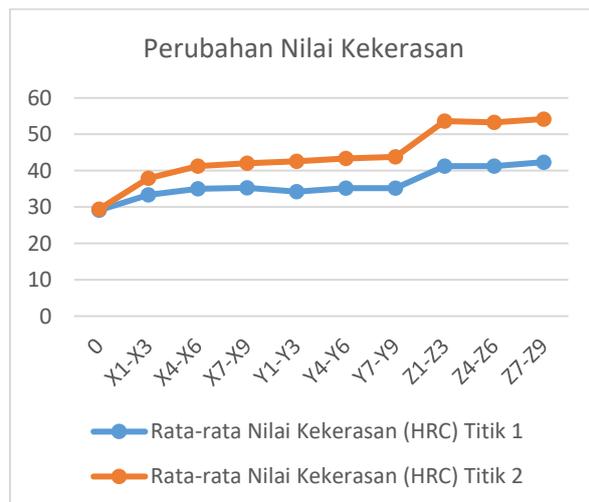


**Gambar 23.** Letak Titik Parameter Pengujian.

Hasil dari nilai rata-rata pengujian kekerasan untuk proses *pack carburizing* pada spesimen Z7-Z9 pada titik pengujian 2 temperatur 900°C *holding time* 60 menit mendapatkan nilai rata-rata yang paling tinggi yaitu 54.21 HRC dikarenakan pada titik tersebut terpapar secara langsung dengan arang yang merupakan sumber karbon aktif, dimana kandungan karbon dari arang masuk ke dalam permukaan selama proses pemanasan.

Didapatkan nilai rata-rata kekerasan pada titik pengujian 2 pada masing – masing spesimen sebesar 37.9 HRC, 41.25 HRC, 42.01 HRC, 42.58 HRC, 43.38 HRC, 43.78 HRC, 53.66 HRC, 53.26

Terjadi banyak perubahan antara material tanpa perlakuan dengan sesudah perlakuan. Perbandingan kekerasan dapat dilihat pada gambar 24.



**Gambar 24.** Perubahan Nilai Kekerasan

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dengan mengacu pada

perumusan masalah, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perlakuan *pack carburizing* dengan temperatur 850°C, 875°C, 900°C dapat meningkatkan kekerasan permukaan baja AISI 1020.
2. Variasi *holding time* yang lama akan menyebabkan penetrasi karbon semakin dalam dan memperoleh *case depth* yang baik.
3. Perbedaan hasil kekerasan antara *raw material* (tanpa perlakuan) dengan sesudah perlakuan mengalami perbedaan kekerasan yang signifikan.

Setelah melakukan penelitian dan mendapatkan hasil, saran yang dapat di sampaikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Memilih media pendingin yang bermacam-macam agar bisa tau jenis media yang baik untuk proses *quenching*.
2. Menambah waktu *holding time* lebih lama lagi agar mendapatkan hasil *case depth* yang baik.
3. Memilih variasi yang beragam.

### REFERENSI

- ASM handbook* vol.1, 1993
- Dieter, G. E. 1986. **Metalurgi mekanik**. Translated by Djaprie, S. 1987. Jakarta:penerbit Erlangga
- Sucahyo, B. 1999. **Ilmu Logam**. Solo: PT Tiga Serangkai Mandiri
- Amanto, H., Daryanto. 1999. **Ilmu bahan**. Jakarta : Bumi Aksara
- Arifin, S. 1976. **Ilmu Logam**. Padang : Ghalia Indonesia
- Nugroho, S dan Haryadi, G. D . **Pengaruh Media Quenching Air Tersirkulasi (Circulated Water) Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Baja Aisi 1045**. UNDIP . Vol 7.
- Karl - Erik Thelning, 1998. **Steel and its Heat Treatment** . Bofors Handbook London: Cetakan VI.
- Ilham Pangestu, Agus Suprpto, Ike Widyastuti. **“Analisis Nilai Kekerasan Pada Baja**

- ST37 Pasca Proses *Pack Carburizing* Sebagai Material Dasar *Sprocket***  
Skripsi, Malang: Universitas Merdeka Malang.
- S. Khadijah et al. 2013. “**Mechanical properties of paste carburized ASTM A516 steel**”  
Procedia Eng., vol. 68, pp. 525–530.
- Dadan Hermawan, 2017. “**Karakterisasi Material Sprocket**”. Skripsi. Bandung: UNPAS.
- Malau, V. 1999. **Pengetahuan Bahan Teknik dan Manufactur**. Universitas Sanata Dharma, Diktat Bahan Kuliah S1, p; 17. Yogyakarta.
- Schonmetz A. dan Gruber K. 1994. **Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam** (Alih Bahasa : Dip-Ing. Eddy D. Hardjapamekas). Bandung : Penerbit Angkasa.
- Amstead, B.H., Ostwald, P.F. dan Begeman, M.L. 1992. **Teknologi Mekanik** (Alih bahasa : Sriati Djaprie), Erlangga, Edisi Ketiga, Jilid 2. Jakarta.
- Suherman, Wahid., 1998, **Perlakuan Panas**, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Tehnologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Suherman, Wahid. 2003. **Pengetahuan Bahan Teknik**. Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.