

Efektifitas Katalis Proses *Pack Carburizing* Terhadap Kekerasan Permukaan dan Struktur Mikro Baja ST 42

The Effectiveness of Pack Carburizing Catalyst Against Surface Hardness and Microstructure of ST 42

Tarsono Dwi Susanto^{1,*}, Nugrah Rekto Prabowo², Bagus Darmawan³

^{1,2,3} Program Studi S1 Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik Widorotomo
Jln. Semangir No. 1 Purwokerto 53132 Indonesia
email: t25ono7212@gmail.com^{*}, darmawanbagus61@gmail.com²

Abstrak

Beban roda gigi yang tinggi akibat gesekan dan tekanan dinamis akan menyebabkan keausan dan terjadinya retakan, untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dibutuhkan kekerasan permukaan yang tinggi namun tetap ulet pada bagian inti. Proses *pack carburizing* adalah salah satu metode untuk meningkatkan kekerasan permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan jenis dan persentase katalis pada proses *pack carburizing* baja ST 42 terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah barium karbonat, kalsium karbonat dan natrium karbonat. Sedangkan persentase yang digunakan adalah 15%, 25% dan 35% dari berat media *carburizing*. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen, dimana kotak sementasi yang berisikan material baja ST 42 dan media *carburizing* dipanaskan dengan furnace pada temperatur 950°C dengan waktu penahanan 2 jam yang selanjutnya diquenching dengan media pendingin air. Pengujian yang digunakan uji kekerasan *vickers* dan uji struktur mikro. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan *vickers* didapatkan nilai kekerasan tertinggi teridentifikasi dengan perlakuan katalis jenis kalsium karbonat persentase 15% dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 975,3 HVN atau mengalami peningkatan 480% dari raw material. Sedangkan nilai rata-rata kekerasan terendah terdapat pada variasi katalis jenis natrium karbonat dengan persentase 35% sebesar 570,2 HVN atau hanya mengalami peningkatan sebesar 239 % dari raw material. Hasil pengujian struktur mikro pada baja ST 42 sebelum dilakukan proses *carburizing* menunjukkan struktur yang terbentuk didominasi fasa ferlit dan sedikit perlit. Sedangkan pada spesimen setelah dilakukan proses *carburizing* terbentuk struktur yang didominasi fasa martensit dan sedikit fasa perlit pada permukaan material baja ST 42. Secara umum dapat disimpulkan bahwa proses *pack carburizing* dengan variasi jenis dan persentase katalis berpengaruh terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro yang didapatkan, dimana pemilihan jenis dan persentase katalis yang tepat dapat meningkatkan nilai kekerasan secara signifikan akan tetapi jika digunakan pada jenis dan persentase katalis yang tidak tepat dapat menyebabkan nilai kekerasan yang dihasilkan menjadi tidak maksimal.

Kata Kunci : Baja ST 42, katalis, *Pack Carburizing*, Mikro Struktur

Abstract

High gear loads due to friction and dynamic pressure will cause wear and cracks to occur. To overcome these problems, high surface hardness is required but is still ductile in the core. The *pack carburizing* process is one method of increasing surface hardness. This study aims to determine the effect of differences in the type and percentage of catalysts in the ST 42 steel *carburizing* pack on the hardness and microstructure values. The catalysts used in this study were barium carbonate, calcium carbonate and sodium carbonate. While the percentage used is 15%, 25% and 35% by weight of *carburizing* media. The research method used was experimental, in which the cementation box containing ST 42 steel material and *carburizing* media was heated with a furnace at a temperature of 950 ° C with a holding time of 2 hours which was then quenched with water cooling media. The test used was the *vickers* hardness test and microstructure test. Based on the results of the *vickers* hardness test, it was found that the highest hardness value was identified with a 15% percentage of calcium carbonate

type catalyst treatment with an average hardness value of 975.3 HVN or an increase of 480% from the raw material. While the lowest average hardness value is found in the variation of the catalyst type sodium carbonate with a percentage of 35% of 570.2 HVN or only an increase of 239% of the raw material. The microstructure test results on ST 42 steel before the carburizing process showed that the structure formed was dominated by the ferrite phase and a little pearlite. Whereas in the specimen after the carburizing process, a structure that is dominated by a martensite phase and a little pearlite phase on the surface of the ST 42 steel material is formed. The right type and percentage of catalyst can increase the hardness value significantly, but if used in the wrong type and percentage of catalyst it can cause the resulting hardness value to be not optimal.

Keywords: ST 42 steel, Catalyst, Pack Carburizing, Micro Structure

1. Pendahuluan

Perkembangan dunia industri saat ini sudah mengalami perkembangan yang semakin maju. Banyak inovasi-inovasi yang telah dilakukan pada setiap pengerjaan juga semakin maju dari tahun ke tahun. Industri baja atau logam adalah salah satu yang sering dilakukan variasi terhadap proses pembuatan maupun pengolahannya agar memiliki inovasi baru, ini disebabkan baja atau logam adalah material yang dapat ditingkatkan sifat mekanisnya dengan beberapa metode sesuai dengan kebutuhan. Pada beberapa komponen mesin yang berputar diharuskan memiliki kekerasan yang cukup tinggi pada permukaannya, namun agar komponen mesin tersebut juga tangguh terhadap beban kejutan dan pembebanan dinamis maka diperlukan inti yang ulet. Seperti misalnya pada roda gigi karena pada saat beroperasi roda gigi saling bergesekan dan menekan, sehingga sering kali mengalami keausan pada permukaan dan terjadinya retakan atau patahnya gigi-gigi pada roda gigi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka perlu dilakukannya proses pengerasan permukaan (*surface hardening*). Dengan dilakukannya pengerasan permukaan diperoleh kekerasan yang tinggi pada bagian permukaan sedangkan bagian dalam atau inti masih dalam keadaan tetap ulet. Sehingga roda gigi menjadi lebih tahan terhadap beban gesek dan juga tangguh dalam menerima beban kejutan

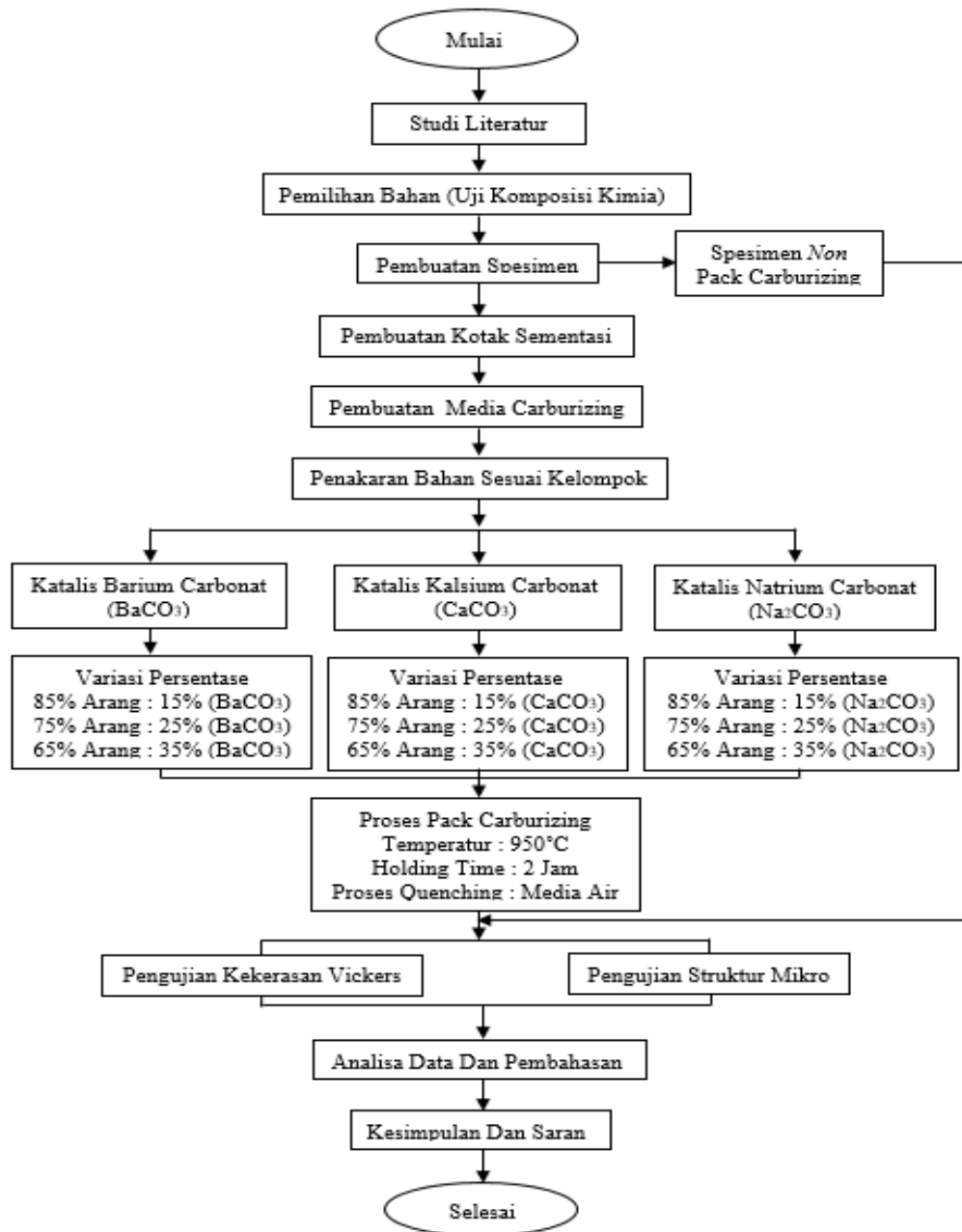
Pengerasan permukaan (*surface hardening*) dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satu diantaranya dengan metode pack carburizing. Proses pack carburizing sendiri didefinisikan sebagai suatu proses penambahan kandungan karbon pada permukaan baja untuk mendapatkan sifat baja yang lebih keras pada bagian permukaannya [1]. Secara umum proses *pack carburizing* diterapkan pada baja jenis karbon rendah dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%. Salah satu baja yang tergolong ke dalam baja kadar karbon rendah dan sering digunakan sebagai bahan baku roda gigi adalah Baja ST 42 [2].

Pada proses pack carburizing ini telah dikembangkan beberapa faktor yang bertujuan untuk menghasilkan nilai kekerasan serta ketebalan difusi lapisan karbon yang tinggi pada permukaan baja. Faktor yang berpengaruh pada proses carburizing adalah media karbon, temperatur, waktu penahanan dan media *quenching* yang digunakan. Penggunaan katalis juga berpengaruh pada proses pack carburizing karena mampu mempercepat pembentukan gas CO₂, yang dibutuhkan untuk proses difusi karbon pada permukaan baja karbon rendah [3]. Pada penelitian ini jenis katalis akan diteliti dengan berdasarkan jenis serta persentase katalis yang digunakan pada proses *pack carburizing*, seperti *barium karbonat* (BaCO₃), *kalsium karbonat* (CaCO₃) dan *natrium karbonat* (Na₂CO₃). Pengaruh penggunaan jenis dan persentase katalis yang berbeda akan mempengaruhi perbedaan reaksi pembentukan karbon menjadi gas CO₂ secara keseluruhan, yang akan mempengaruhi tingkat kekerasan material.

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh jenis dan persentase katalis yang berbeda pada proses *pack carburizing* dengan parameter perlakuan yang sama. Hasil penelitian ini akan mampu memberikan informasi efektivitas katalis yang paling dominan proses pack carburizing terhadap nilai kekerasan permukaan material baja ST 42.

2. Metode Penelitian

2.1. Flow Chart Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.2. Faktor dan Level

Tabel 1. Faktor Dan Level

No	Faktor / variabel bebas			Level
1	Jenis katalis	Barium carbonat	Kalsium carbonat	Natrium carbonat
2	Persentase katalis	15%	25%	35%

2.3. Prosedur Penelitian

- Pemilihan Bahan (Uji Komposisi Kimia)**
Material baja ST 42 yang telah diperoleh dilakukan proses pengujian komposisi kimia. Pengujian komposisi kimia ini menggunakan alat Spectrotest dengan benda uji sesuai ASTM E 415 – 15 dimensi spesimen uji berdiameter 25 mm dan tinggi 10 mm, [4].
- Pembuatan Spesimen**
Proses pembuatan spesimen dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional dengan dimensi spesimen sesuai standar pengujian kekerasan vickers yaitu ASTM E 384 dimensi spesimen diameter 20 mm dan tinggi 10 mm [5].
- Pembuatan Kotak Sementasi**
Kotak sementasi dibuat dari lembaran plat baja yang dipotong dan dilas sehingga berbentuk persegi dengan dimensi ukuran panjang 158 mm, lebar 78 mm, tinggi 84 mm dan ketebalan plat 4 mm.
- Pembuatan Media Carburizing (*Carburizing Compound*)**
Media karbon aktif dari arang tempurung kelapa di haluskan memakai blender. Kemudian bubuk karbon aktif dan katalis diayak menggunakan *screen stainless* mesh 100 agar ukurannya seragam.
- Penakaran Media Carburizing**
Penakaran bahan ini menggunakan perbandingan 85% arang (392,7 gram) : 15% katalis (69,3 gram), 75% arang (346,5 gram) : 25% katalis (115,5 gram) dan 65% arang (300,3 gram) : 35% katalis (161,7 gram) dari total 462 gram berat bubuk media carburizing.

2.4. Tahapan Proses Carburizing

- Mencampurkan karbon aktif dan katalis yang telah ditakar sesuai dengan penakaran yang digunakan pada setiap eksperimen.
- Letakkan spesimen dalam kotak sementasi mengikuti susunan berlapis yaitu: lapisan dasar berisi campuran bubuk arang dan katalis dengan ketebalan 25 mm, lapisan kedua berisi 3 buah specimen dengan jarak antar spesimen 25 mm dan lapisan ketiga berisi campuran bubuk arang dan katalis dengan ketebalan 25 mm.
- Tutup kotak sementasi dipasang dan dirapatkan menggunakan tanah liat untuk menutupi celah.
- Memasukkan kotak sementasi ke dalam dapur pemanas. Kemudian ditutup, proses pemanasan kotak sementasi pada temperatur 950°C dengan waktu penahanan selama 2 jam.
- Mematikan dapur pemanas lalu membuka tutupnya untuk mengeluarkan kotak sementasi dari dalam dengan menggunakan tang penjepit.
- Mengangkat spesimen dari dalam kotak sementasi dan dimasukkan ke dalam media air.
- Mengangkat spesimen dari dalam media pendingin air, kemudian dibersihkan dari sisa-sisa proses pack carburizing hingga bersih.
- Lakukan langkah-langkah proses pack carburizing dengan cara yang sama pada pengerjaan a-f, dengan jenis dan persentase katalis yang berbeda. Seperti ditunjukkan gambar 2 dan 3,



(a)



(b)

Gambar 2. (a).Bahan Penelitian, (b) Kotak sementasi



Gambar 3. (a).Tahapan peleburan, (b). Pendinginan

2.5. Metode pengujian

a. Pengujian Kekerasan Permukaan

Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers*. Spesimen hasil proses pack carburizing dilakukan diampelas dengan grade 800 dan 1000, agar saat dilakukan pengamatan bekas injakan indenter dapat terlihat jelas. Pembebanan indenter sebesar 40 kgf dengan lamanya waktu pembebanan selama 10 s dan jarak antar titik injakan penekanan indenter berjarak 2mm. Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan 3 pengambilan data pada setiap spesimen.

b. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dari arah penampang melintang, Spesimen di etsa menggunakan campuran 2,5% HNO₃ karena spesimen berbahan logam baja. Kemudian spesimen diamati dan difoto dengan mikroskop optik dan optilab yang dihubungkan dengan komputer. Pengujian struktur mikro dilakukan 1 pengambilan data pada spesimen yang memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi pada masing-masing variasi jenis serta persentase katalis.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

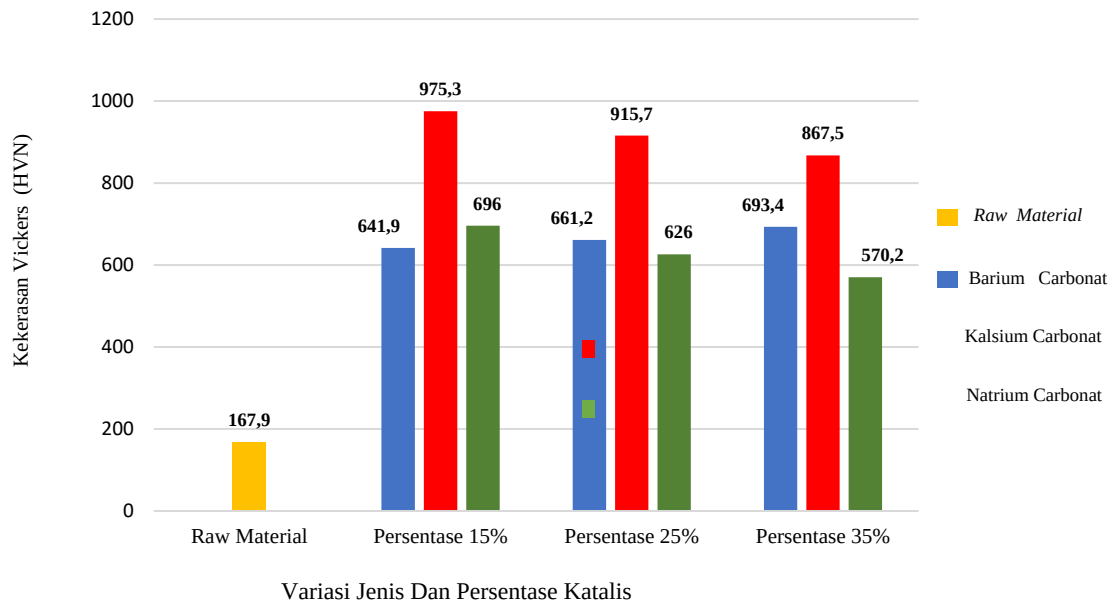
Dari hasil pengujian komposisi kimia pada raw material baja ST 42 diperoleh sebanyak 9 unsur penyusun, dengan kadar karbon yang terkandung dalam baja tersebut sebesar 0,11 % atau jumlah unsur karbon (C) kurang dari 0,3 % ini memenuhi syarat klasifikasi baja karbon rendah dan unsur paduan dari baja tersebut menunjukkan unsur paduan baja rendah [6].

Tabel 2. Data uji komposisi kimia raw material Baja ST 42

No	Nama Unsur	Simbol	Chemical Composition (%)		Test Result (%)
			n1	n2	
1	Carbon	C	0,12	0,11	0,11
2	Silicon	Si	0,17	0,16	0,16
3	Mangan	Mn	0,28	0,28	0,28
4	Fosfor	P	0,00	0,02	0,01
5	Sulfur	S	0,01	0,01	0,01
6	Kromium	Cr	0,29	0,29	0,29
7	Molibdenum	Mo	0,00	0,01	0,01
8	Tembaga	Cu	0,02	0,02	0,02
9	Besi	Fe	98,9	98,9	98,9

3.2. Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan di tunjukkan dalam grafik 4, sebagai berikut,



Gambar 4. Grafik perbandingan nilai kekerasan pada variasi jenis dan persentase katalis

Pada penggunaan katalis jenis barium karbonat (BaCO_3) terjadi peningkatan nilai kekerasan seiring dengan bertambahnya penggunaan katalis. Nilai kekerasan yang didapat sebesar 641,9 HVN pada persentase 15%. Selanjutnya meningkat kembali sebesar 661,2 HVN pada persentase 25%. Sedangkan peningkatan nilai kekerasan yang paling optimal sebesar 693,4 HVN pada persentase 35%. Peningkatan nilai kekerasan yang terjadi seiring dengan bertambahnya penggunaan katalis mengindikasikan bahwa katalis jenis barium karbonat (BaCO_3) ini sulit terurai pada temperatur tinggi. Sehingga untuk menghasilkan gas CO_2 yang cukup untuk mampu mendifusikan karbon (C) kedalam permukaan baja, dibutuhkan kapasitas penggunaan katalis dalam jumlah yang relatif meningkat. Dengan semakin banyaknya jumlah katalis yang digunakan, maka karbon yang terdifusikan pada permukaan baja semakin meningkat sehingga nilai kekerasan yang didapat semakin meningkat. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian [7], kemudian pada penggunaan katalis kalsium karbonat (CaCO_3) menunjukkan penurunan nilai kekerasan yang terjadi seiring bertambahnya persentase katalis, dengan nilai kekerasan paling optimal yang didapat sebesar 975,3 HVN pada persentase 15%, kemudian mengalami penurunan pada persentase 25% dengan nilai kekerasan yang didapat sebesar 915,7 HVN dan terjadi penurunan kekerasan kembali pada persentase 35% dengan nilai kekerasan sebesar 867,5 HVN pada persentase 35%.

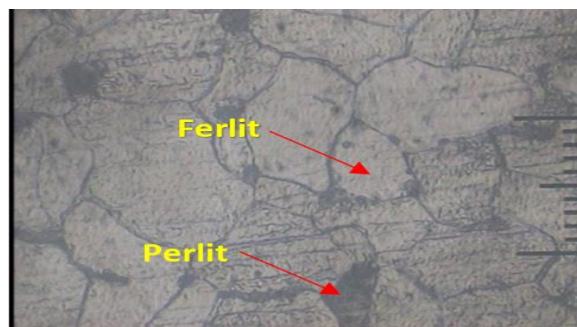
Penurunan yang terjadi pada jenis katalis ini tidak lebih rendah dari nilai kekerasan tertinggi yang terdapat pada katalis jenis barium karbonat dan natrium karbonat. Hal ini menunjukkan katalis kalsium karbonat memiliki karakteristik yang mudah terurai untuk menghasilkan gas CO_2 dibandingkan dengan jenis katalis lainnya, seiring bertambahnya penggunaan katalis dan mudah terurainya jenis katalis kalsium karbonat membuat gas CO_2 yang dihasilkan dari reaksi dekomposisi akan semakin meningkat, disisi lain dengan bertambahnya penggunaan katalis maka akan mengurangi kapasitas karbon pada media carburizing yang akan direaksikan. Maka dengan semakin banyaknya gas CO_2 yang dihasilkan dari reaksi dekomposisi tidak sebanding dengan ketersediaan karbon (C) pada media carburizing untuk di difusikan ke dalam permukaan baja. Sehingga gas CO_2 hanya bereaksi tanpa mengikat atom-atom karbon (C) untuk dilarut ke dalam permukaan baja, hal tersebut membuat penggunaan katalis kalsium karbonat (CaCO_3) dalam kapasitas persentase yang semakin meningkat mendapatkan penurunan nilai kekerasan. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian [8], sedangkan pada proses pack

carburizing dengan penggunaan katalis natrium karbonat (Na_2CO_3) memiliki karakteristik yang sama dengan katalis kalsium karbonat (CaCO_3), apabila pada penggunaan katalis dalam jumlah kapasitas yang relatif sedikit akan menaikkan nilai kekerasan material uji.

Nilai kekerasan yang didapat sebesar 696 HVN pada persentase 15%. Selanjutnya mengalami penurunan pada persentase 25% dengan nilai kekerasan yang didapat 626 HVN dan terjadi penurunan kekerasan kembali pada persentase 35% dengan nilai kekerasan sebesar 570,2 HVN. Namun nilai kekerasan yang didapatkan pada jenis katalis ini hasilnya tidak semeningkat seperti yang terdapat pada penggunaan katalis kalsium karbonat (CaCO_3), yang berarti dalam hal ini katalis kalsium karbonat (CaCO_3) memiliki efektifitas yang jauh lebih baik pada proses pack carburizing dibandingkan jenis katalis natrium karbonat (Na_2CO_3).

3.3. Hasil Pengujian Struktur Mikro

- 1) Foto struktur mikro pada spesimen raw material



Gambar 5. Struktur mikro raw material

Pada foto struktur mikro yang terdapat pada raw material mengindikasikan bahwa raw material baja ST 42 termasuk dalam kategori baja karbon rendah, dimana struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh struktur ferlit dibandingkan dengan struktur perlit

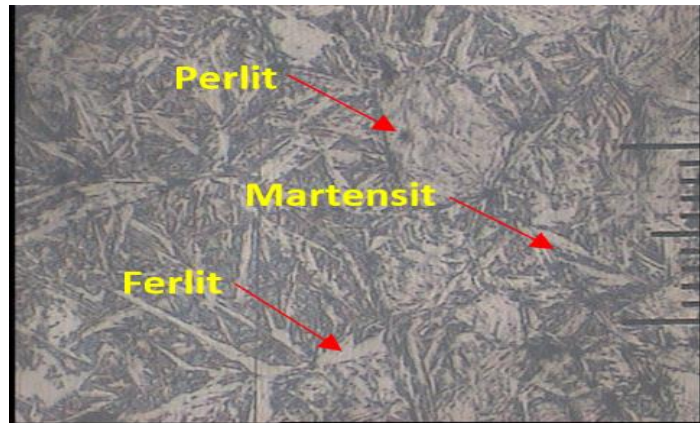
- 2) Foto Struktur Mikro Katalis Jenis *Barium Carbonat*



(a)



(b)

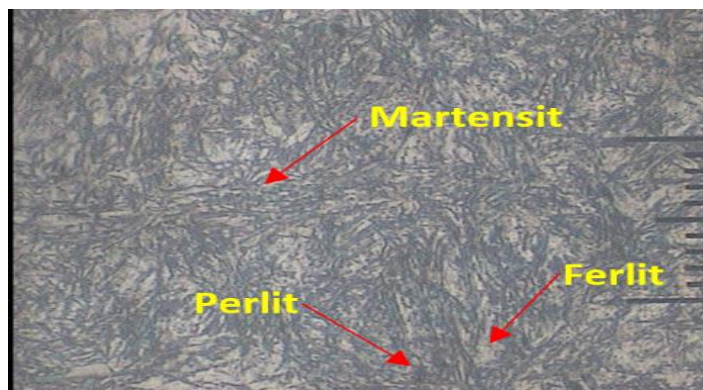


(c)

Gambar 6. Struktur mikro (a) Katalis barium carbonat 15%, (b) Katalis barium carbonat 25% dan (c) Katalis barium carbonat 35%.

Pada katalis jenis barium carbonat (BaCO_3) dengan seiring bertambahnya penggunaan katalis, struktur martensit yang terbentuk semakin mendominasi dibandingkan dengan struktur ferlit dan perlit. Efektifitas yang dimiliki pada jenis katalis ini relatif rendah ketika digunakan dalam persentase yang relatif sedikit. Hal ini di indikasikan dari hasil pengujian struktur mikro dimana pada penggunaan persentase 15%, struktur martensit yang terbentuk relatif sedikit. ini menunjukkan bahwa kadar karbon yang terdifusikan kedalam permukaan baja sedikit, walaupun karbon yang ada pada media carburizing lebih banyak dibandingkan katalis, sehingga untuk mampu mendifusikan unsur karbon secara maksimal kedalam permukaan baja, diperlukan penggunaan katalis barium carbonat dalam jumlah persentase yang semakin meningkat.

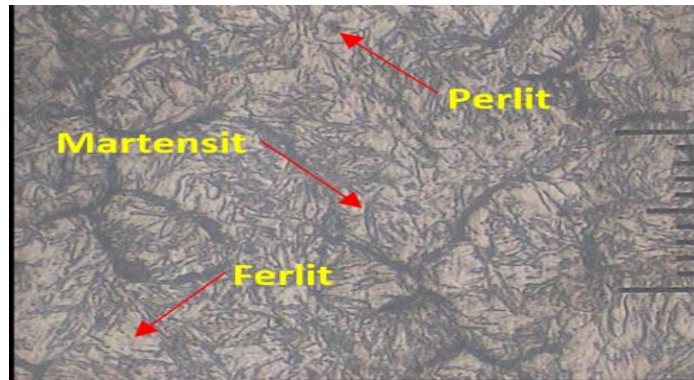
3) Foto Struktur Mikro Katalis Jenis Kalsium Carbonat



(a)



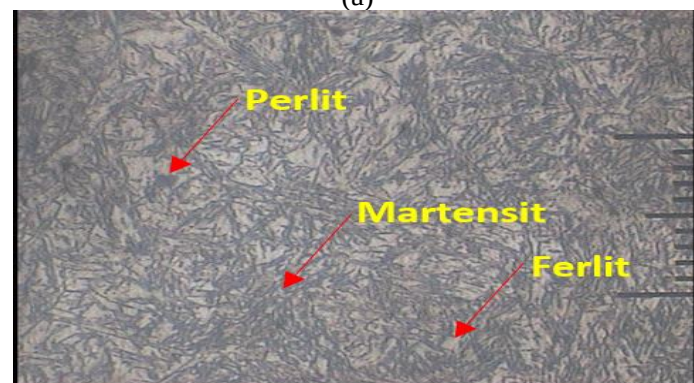
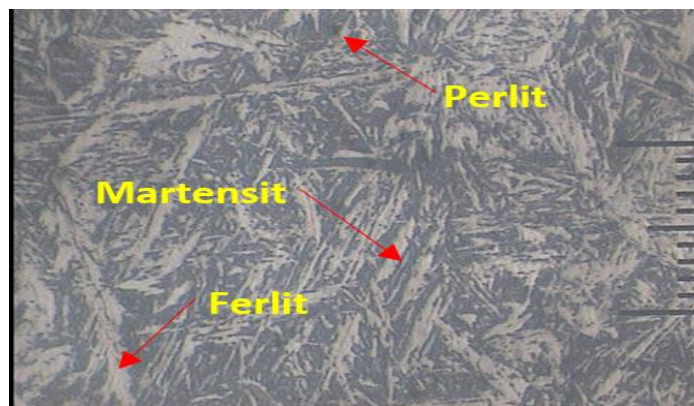
(b)

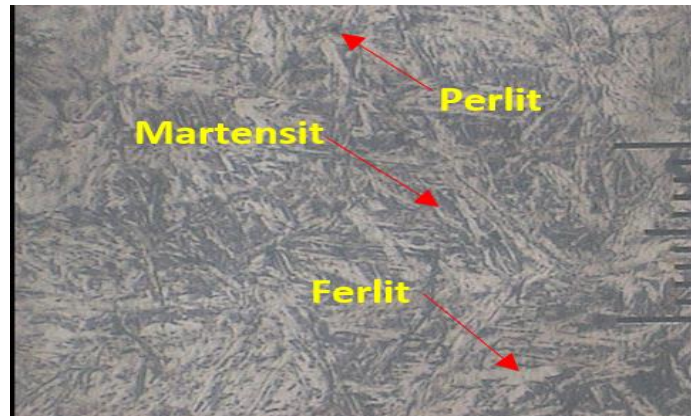


(c)
Gambar 7. Struktur mikro (a) Katalis kalsium karbonat 15%, (b) Katalis kalsium karbonat 25% dan (c) Katalis kalsium karbonat 35%

Kemudian pada katalis jenis kalsium karbonat (CaCO_3) pada penggunaan jumlah persentase katalis yang relatif sedikit terbentuk fasa martensit dengan karakteristik struktur lebih halus dengan persebaran butir martensit yang lebih merata dan memiliki kerapatan struktur lebih baik dibandingkan pada varian jenis dan persentase katalis lainnya. Hal ini mengindikasikan efektifitas yang dimiliki pada katalis jenis ini jauh lebih baik dibandingkan dengan jenis katalis lainnya, dimana pada penggunaan katalis dalam jumlah yang relatif sedikit mampu mendifusikan unsur karbon secara maksimal. Dengan kata lain semakin sedikitnya penggunaan katalis maka jumlah karbon yang digunakan pada media carburizing akan semakin banyak, [9], sehingga unsur karbon yang akan di difusikan ke dalam permukaan baja akan semakin meningkat, [10].

4) Foto Struktur Mikro Katalis Jenis Natrium Carbonat





(c)

Gambar 8. Struktur mikro (a) Katalis natrium karbonat 15%, (b) Katalis natrium karbonat 25% dan (c) Katalis natrium karbonat 35%

Sedangkan pada katalis jenis *natrium karbonat* (Na_2CO_3) ini memiliki karakteristik yang sama dengan jenis katalis kalsium karbonat (CaCO_3) yakni pada penggunaan persentase relatif kecil didapatkan struktur martensit yang semakin mendominasi dan pada persentase yang semakin meningkat kerapatan fasa martensit berkurang. Namun struktur mikro yang didapatkan pada jenis katalis ini hasilnya tidak semeningkat seperti yang terdapat pada penggunaan katalis kalsium karbonat (CaCO_3), yang berarti dalam hal ini katalis natrium karbonat (Na_2CO_3) memiliki efektifitas yang kurang dalam mendifusikan karbon pada proses pack carburizing. Sehingga nilai kekerasan yang didapatkan tidak semeningkat seperti pada penggunaan katalis kalsium karbonat (CaCO_3).

4. Kesimpulan dan saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan data hasil dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dengan demikian bisa di ambil kesimpulan sebagai berikut :

- Penggunaan katalis *kalsium karbonat* dengan penggunaan persentase 15% mempunyai nilai kekerasan sebesar 975,3 HVN dan nilai kekerasan yang terendah terdapat pada variasi jenis katalis natrium karbonat pada persentase 35% dengan nilai kekerasan sebesar 570 HVN.
- Struktur mikro menunjukkan fasa martensit yang paling dominan terdapat pada variasi jenis katalis kalsium karbonat dengan persentase 15% ditandai dengan tingginya nilai kekerasan yang didapatkan. Sedangkan fasa martensit dengan dominasi terendah terdapat pada variasi jenis katalis natrium karbonat persentase 35%.
- Kenaikan nilai kekerasan yang tertinggi terdapat pada variasi jenis katalis kalsium karbonat (CaCO_3) pada persentase 15% sebesar 975,3 HVN meningkat sebesar 480% dari *raw material*, struktur mikro yang terbentuk fasa martensit dominan jika dibandingkan dengan kekerasan awal sebesar 167,9 HVN dengan struktur mikro didominasi fasa ferlit dan sedikit perlit.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka ada beberapa saran yang dianjurkan, antara lain sebagai berikut :

- Pada penelitian selanjutnya, diharapkan memperhatikan kerapatan dari konstruksi kotak sementasi, apabila kotak sementasi mengalami kebocoran maka akan terjadi oksidasi yang mengakibatkan mengelupasnya permukaan spesimen serta kerak yang berlebihan, sehingga hal ini akan mengakibatkan kegagalan dalam proses pack carburizing.
- Penelitian ini hanya terbatas pada pengujian kekerasan dan struktur mikro pada permukaan spesimen, oleh karena itu perlu adanya penelitian lanjutan pada pengujian kedalaman lapisan *carburizing* (*case depth*) untuk mengetahui seberapa dalam karbon yang mampu berdifusi kedalam spesimen uji.

- c. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengembangan variasi-variasi lain yang dapat mempengaruhi tingkat kekerasan yang dihasilkan. Seperti media karbon, temperatur, waktu penahanan dan media quenching yang digunakan pada proses pack carburizing.

Daftar Pustaka

- [1] B.H. Amstead, Phillip F. Oswald, Myron L. Begemen, (1997), *Teknologi Mekanik* (Jakarta: Erlangga, hal. 152-153
- [2] Niemann G,(1990), *Elemen Mesin, Edisi II*, PT Gelora Aksara Pratama, Jakarta, hal.195.
- [3] Wahid Suherman, Ilmu Logam I (Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2003), hal. 81, 82, 142 dan 147
- [4] ASTM E415-15, (2015), Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [5] Dieter, George E., (1987), *Engineering Design A Materials and Processing Approach*, **Mc Graw-Hill Book Company**, hal. 336 – 337
- [6] Alois Schonmetz, Karl Gruber, (1987), *Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam*, CV. Angkasa, Jakarta, hal.17, 40 dan 44
- [7] Reny Afriany, (2016), Analisa Pengaruh Variasi Katalis Pada Proses Karburasi Baja Karbon Sedang Dengan Pendinginan Tunggal, *Jurnal Ilmiah Teknik*, 5(2) 2016 : hal. 38 – 50.
- [8]. Ella Sundari, Taufikurrahman, Reza Fahlevi, (2018), *Analisa Pengaruh Pack Carburizing Terhadap Sifat Mekanis Sprocket Imitasi Sepeda Motor Menggunakan Arang Kayu Gelam Dan Serbuk Cangkang Remis Sebagai Katalisator*, Jurnal Austenit Vol. 10, No.2, Oktober, ISSN : 2085-1286 E-ISSN : 2622-7649 72.
- [9]. Karmin, Sairul. E, Firdaus, dan Romli, (2018), *Analisa Perubahan Sifat Mekanik dan Struktur MikroMulti Quenching Terhadap Hasil Pack Carburizing Baja Karbon Rendah*, Jurnal Austenit Vol. 10, No.1.
- [10]. Sujita, (2016), *Proses Pack Carburizing dengan Media Carburizer Alternatif Serbuk Arang Tongkol Jagung dan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara*, Jurnal Mechanical, Vol 7 No.2.