



Research Article

Analisis Pengaruh Variasi Jenis dan Persentase Katalis pada Proses Pack Carburizing Baja ST 42 terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro

Trio Nur Wibowo^{1,*}, Yuliyanti Dian Pratiwi²

^{1,*}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains Universitas Muhammadiyah Purwokerto

²Program Studi Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo

*Corresponding author : trionw@ump.ac.id

Article History:

Online first:

27 June 2022

Keywords: ST 42; catalyst; pack carburizing, HVN.

ABSTRACT

Machine components such as gears which in operation rub against each other and press continuously will cause wear and tear and the occurrence of cracks or broken teeth on the gears. To overcome these problems, it takes a high surface hardness but still ductile in the core. The pack carburizing process is one method to increase the surface hardness. This study aims to determine the effect of different types and percentages of catalyst in the pack carburizing process of ST 42 steel on the hardness and microstructure values. The catalysts used in this study were barium carbonate, calcium carbonate and sodium carbonate. While the percentages used are 15%, 25% and 35% of the weight of the carburizing media. The research method used is experimental, where the cementation box containing ST 42 steel material and carburizing media is heated in a furnace at a temperature of 950°C with a holding time of 2 hours which is then quenched with water cooling media. The tests used were Vickers scale hardness test and microstructure test. Based on the results of the Vickers hardness test, it was found that the highest hardness value was found in the variation of the calcium carbonate type catalyst with a percentage of 15% with an average hardness value of 975.3 HVN or an increase of 480% from the raw material. Meanwhile, the lowest average hardness value is found in the variation of the sodium carbonate type catalyst with a percentage of 35% of 570.2 HVN or only an increase of 239% from the raw material. The results of microstructure testing on ST 42 steel before the carburizing process showed that the structure formed was dominated by ferrite and slightly pearlite phases. In general it can be concluded that the pack carburizing process with variations in the type and percentage of catalyst affects the hardness and microstructure values obtained, where the selection the right type and percentage of catalyst can increase the hardness value

significantly but if it is used on the wrong type and percentage of catalyst it can cause the resulting hardness value to be not optimal.

ABSTRAK

Komponen mesin seperti pada roda gigi yang dalam pengoperasiannya saling bergesekan dan menekan secara terus menerus akan menyebabkan keausan dan terjadinya retakan atau patahnya gigi-gigi pada roda gigi. 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. Persentase katalis 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 berskala vickers dan uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Data penelitian menunjukkan bahwa, nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi 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 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. 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: ST 42; katalis; pack carburizing; HVN.

PENDAHULUAN

Perkembangan dunia industri saat ini sudah mengalami perkembangan yang semakin maju. Banyak 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. Perbedaan proses perlakuan panas akan mempengaruhi sifat struktural dan mekanik [1]. Hal ini disebabkan baja atau logam

adalah material yang bisa dikatakan lebih unggul dari pada material yang lain dan dapat di variasikan dengan metode dan teknik sesuai dengan kebutuhan [2].

Pada beberapa komponen mesin yang berputar diharuskan memiliki kekerasan yang cukup tinggi pada permukaannya. Namun agar komponen mesin tersebut juga tangguh terhadap beban kejut dan pembebanan dinamis maka diperlukan inti yang ulet [3-4]. 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*) [5]. 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 kejut [6-7].

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 [8]. Umumnya 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 [9]. Roda gigi juga lazim menggunakan baja karbon S45C. Kekerasan baja karbon S45C menggunakan pendinginan quenching lebih tinggi dibandingkan normalizing dan annealing [10].

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 [11]. Adapun faktor yang dikembangkan seperti media karbon, temperatur, waktu penahanan dan media quenching yang digunakan. Disamping hal tersebut di atas, penggunaan katalis juga berpengaruh pada proses pack carburizing [12-13]. Sebagaimana diketahui katalis berfungsi untuk mempercepat pembentukan gas CO₂, yang dibutuhkan untuk proses difusi karbon pada permukaan baja karbon rendah [14-15]. Akan tetapi pada pengaplikasiannya terdapat perbedaan dalam penggunaannya baik itu pada jenis serta persentase katalis yang digunakan pada proses pack carburizing, seperti barium karbonat (BaCO₃), kalsium karbonat (CaCO₃) dan natrium karbonat (Na₂CO₃) [16]. Dengan adanya penggunaan jenis dan persentase katalis yang berbeda akan mempengaruhi perbedaan reaksi pembentukan karbon menjadi gas CO₂ secara keseluruhan, yang berarti dalam hal ini mempengaruhi tingkat kekerasan yang didapat pula [17].

Dari uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh dari variasi jenis dengan persentase katalis yang berbeda pada proses pack carburizing dengan parameter perlakuan yang sama, yang dimana nantinya hasil dari proses penelitian ini akan dapat diketahui jenis dengan persentase manakah yang mampu memberikan efektifitas terbaik pada proses pack carburizing terhadap nilai kekerasan permukaan yang optimum pada material baja ST 42.

METODE PENELITIAN

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 25mm dan tinggi 10mm. 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. 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 Coumpound*) menggunakan 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 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.

TABEL 1.Faktor dan Level

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

Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers*. Spesimen hasil proses pack carburizing dilakukan diampelas dengan grade 800 dan 1000, agar saat dilakukan pengamatan bekas injakan indentor dapat terlihat jelas. Pembebanan indentor sebesar 40 kgf dengan lamanya waktu pembebanan selama 10 s dan jarak antar titik injakan penekanan indentor berjarak 2 mm. Pengujian kekerasan vickers dilakukan 3 pengambilan data pada setiap spesimen. Pengujian struktur mikro diambil gambarnya 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 satu pengambilan data pada spesimen dengan nilai kekerasan yang paling tinggi pada tiap variasi jenis serta persentase katalis.

HASIL DAN DISKUSI

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 [14].

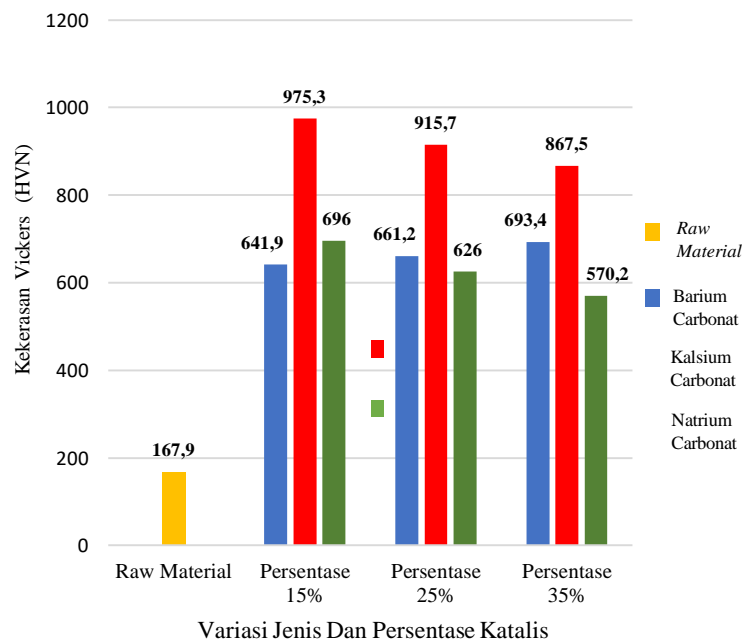
TABEL 2.Uji Komposisi Kimia Raw Material Baja ST 42

No	Nama Unsur	Simbol	Chemical Composition (%)		Test Result(%)
			n1	n2	
1	Carbon	C	0,12	0,11	011
2	Silicon	Si	0,17	0,16	0,16
3	Mangan	Mn	1,28	1,28	1,28

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	,002
9	Besi	Fe	98,9	98,9	98,9

Hasil Pengujian Kekerasan

Pada penggunaan katalis jenis barium carbonat (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 carbonat (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.



Gambar 1. Grafik perbandingan nilai kekerasan pada variasi jenis dan persentase katalis

Hasil pengujian penggunaan katalis kalsium carbonat (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 25% 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 (CaCO_3) memiliki karakteristik yang mudah terurai untuk menghasilkan gas CO_2 dibandingkan dengan jenis katalis lainnya.

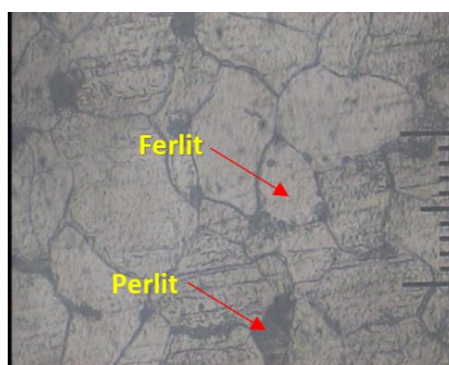
Seiring bertambahnya penggunaan katalis dan mudah terurainya jenis katalis kalsium karbonat (CaCO_3) membuat gas CO_2 yang dihasilkan dari reaksi dekomposisi akan semakin meningkat, disisi lain dengan bertambahnya penggunaan katalis maka akan mengurangi kapasitas karbon pada media carburizing yang akan 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 tersebutlah yang membuat penggunaan katalis kalsium karbonat (CaCO_3) dalam kapasitas persentase yang semakin meningkat mendapatkan penurunan nilai kekerasan.

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. Adapun 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).

Hasil Pengujian Struktur Mikro

Foto struktur mikro pada spesimen raw material

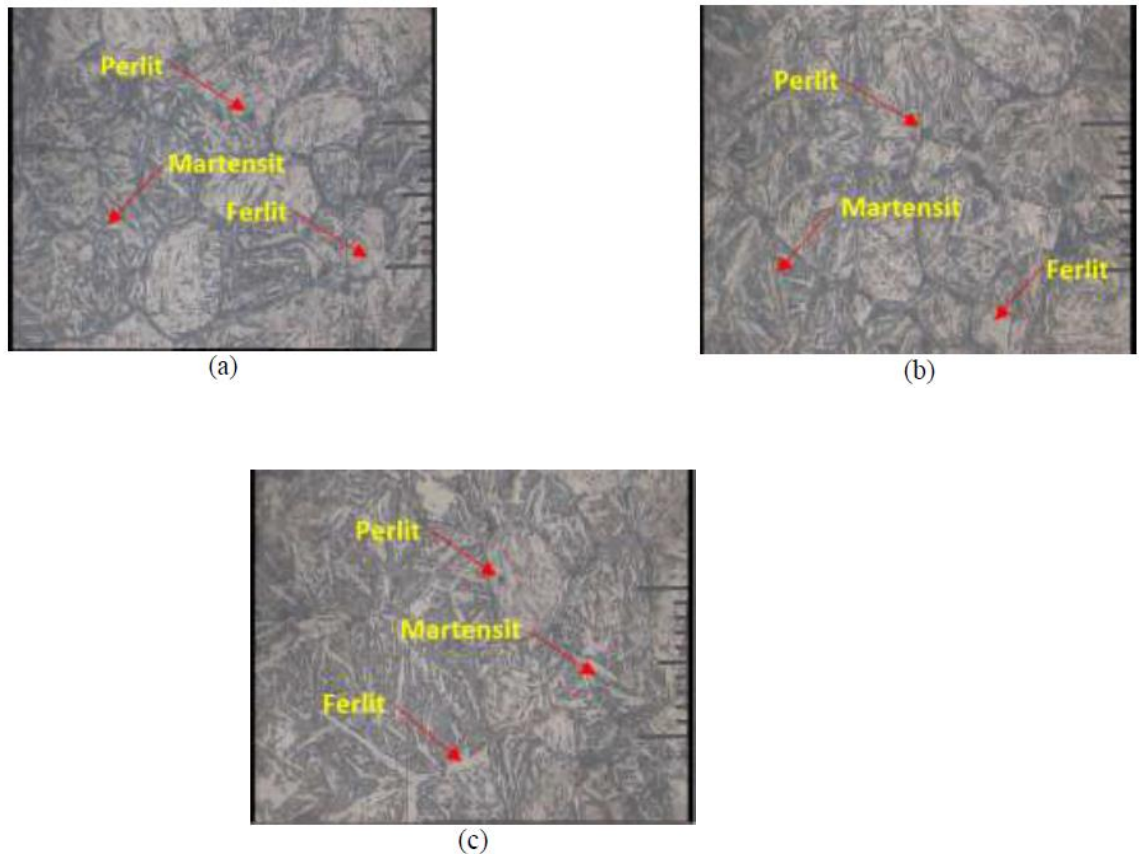
Pada foto struktur mikro yang terdapat pada raw material mengindikasikan bahwa raw material baja ST 42 termasuk dalam kategori baja karbon rendah, dimana struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh struktur ferlit dibandingkan dengan struktur perlit



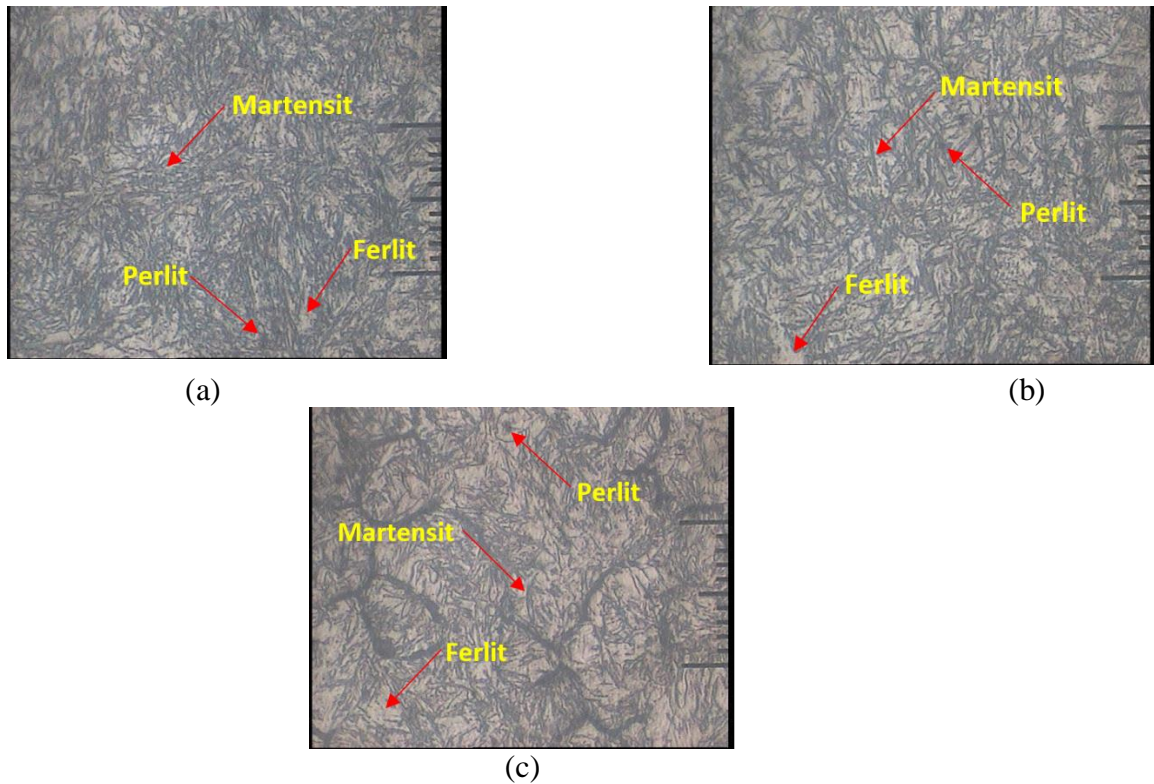
Gambar.2.Struktur mikro raw material

Foto Struktur Mikro Katalis Jenis Barium Carbonat

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.



Gambar 3. Struktur mikro (a) Katalis barium carbonat 15%, (b) Katalis barium carbonat 25% dan (c) Katalis barium carbonat 35%.

Foto Struktur Mikro Katalis Jenis Kalsium Carbonat

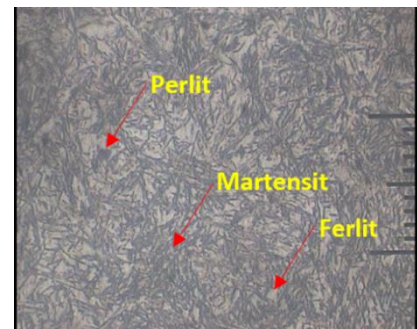
Gambar 4. Struktur mikro (a) Katalis kalsium karbonat 15%, (b) Katalis kalsium karbonat 25% dan (c) Katalis kalsium karbonat 35%

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, sehingga unsur karbon yang akan di difusikan ke dalam permukaan baja akan semakin meningkat.

Foto Struktur Mikro Katalis Jenis Natrium Carbonat



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Struktur mikro (a) Katalis natrium carbonat 15%, (b) Katalis natrium carbonat 25% dan (c) Katalis natrium carbonat 35%

Sedangkan pada katalis jenis natrium carbonat (Na_2CO_3) ini memiliki karakteristik yang sama dengan jenis katalis kalsium carbonat (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 carbonat (CaCO_3), yang berarti dalam hal ini katalis natrium carbonat (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 carbonat (CaCO_3).

KESIMPULAN

Penggunaan katalis dalam jumlah persentase semakin meningkat, tidak ke semua jenis katalis mengalami peningkatan nilai kekerasan ataupun sebaliknya. Nilai kekerasan permukaan yang tertinggi dari penelitian ini terdapat pada variasi jenis katalis kalsium carbonat dengan penggunaan persentase 15% mempunyai nilai kekerasan sebesar 975,3 HVN dan nilai kekerasan yang terendah terdapat pada variasi jenis katalis natrium carbonat pada persentase 35% dengan nilai kekerasan sebesar 570 HVN. Hasil struktur mikro menunjukkan perbedaan kandungan fasa martensit pada setiap permukaan spesimen setelah perlakuan proses pack carburizing dengan variasi jenis dan persentase katalis. Fasa martensit yang paling dominan terdapat pada variasi jenis katalis kalsium carbonat dengan persentase 15% ditandai dengan tingginya nilai kekerasan yang didapatkan. Sedangkan fasa martensit dengan dominasi terendah terdapat pada variasi jenis katalis natrium carbonat persentase 35%. Terdapat

perbedaan yang signifikan pada nilai kekerasan permukaan dan struktur mikro dari material baja ST 42 sebelum dan sesudah dilakukan proses carburizing. Dimana kenaikan nilai kekerasan yang tertinggi terdapat pada variasi jenis katalis kalsium karbonat (CaCO_3) pada persentase 15 % sebesar 975,3 HVN atau mengalami kenaikan kekerasan sebesar 480% dari spesimen raw material, didukung dengan struktur mikro yang terbentuk fasa martensit yang lebih banyak dan dominan. Sedangkan nilai kekerasan yang terdapat pada baja ST 42 sebelum dilakukan proses carburizing sebesar 167,9 HVN dengan struktur mikro yang terbentuk didominasi fasa ferlit dan sedikit perlit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugroho T. A., et. al. 2021. Efek Perlakuan Panas (Heat Treatment) pada Besi Cor Kelabu terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro, *Cre. Res. in Eng*, Vol. 1, No. 2, 2021, pp. 67-73
- [2] B.H. Amstead, Phillip F. Oswald, Myron L. Begemen, *Teknologi Mekanik* (Jakarta: Erlangga, 1997), hal. 152 dan 153
- [3] Niemann G, *Elemen Mesin, Edisi II* (Jakarta: PT Gelora Aksara Pratama, 1990), hal.195
- [4] Wisnujati. 2017. Analisa Perlakuan Carburizing Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik pada Bahan Spocket Imitasi Sepeda Motor. *Jurnal Simetris Vol 8 No.1 April 2017*. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [5] Wahid Suherman, *Ilmu Logam I* (Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2003), hal. 81, 82, 142 dan 147
- [6] Dieter, George E., *Engineering Design A Materials and Processing Approach* (Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1987), hal. 336 – 337
- [7] Sujita. 2016. Proses Pack Carburizing dengan Media Carburizer Alternatif Serbuk Arang Tongkol Jagung dan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara. *Jurnal Mechanical Vol 7 No.2 September 2016*. Teknik Mesin Universitas Mataram.
- [8] Nanulaitta, dan Patty. 2011. Analisa Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah (S35C) dengan Pengaruh Waktu Penahanan (Holding Time) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing) dengan Pemanfaatan Cangkang Kerang sebagai Katalisator. *Jurnal Teknologi Vol 8 No.2 2011*.
- [9] Alois Schonmetz, Karl Gruber, *Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam* (Jakarta: CV. Angkasa, 1985), hal.17, 40 dan 44
- [10] Margono., et. al. Pengaruh Laju Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon S45C, *Cre. Res. in Eng*, Vol. 1, No. 2, 2021, pp. 60-66
- [11] Karmin, Sairul. E, Firdaus, dan Romli. 2018. Analisa Perubahan Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Multi Quenching Terhadap Hasil Pack Carburizing Baja Karbon Rendah. *Jurnal Austenit Vol 10 No.1 April 2018*. Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [12] Reny Afriany, “Analisa Pengaruh Variasi Katalis Pada Proses Karburasi Baja Karbon Sedang Dengan Pendinginan Tunggal”, *Jurnal Ilmiah Teknika*,
- [13] Totten, G.E, Bates, C.E, dan Clinson, N.A.1993. *Handbook of Quenchants and Quenching Technology*.USA: ASM Internasional 17. Vander Voort, G.F. 1999. *Metallography:Principles and Practice*. ASM International,Material Park, OH.
- [14] Vlack, L. H. Van. 2004. *Elemen-elemen Ilmudan Rekayasa Material*. Jilid 6. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie. Penerbit Erlangga.
- [15] Amstead B. H., et al. 1992. *Teknologi Mekanik*Jilid 2. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie Penerbit Erlangga.
- [16] Beumer, B.J.M. 1980. *Pengetahuan Bahan*.Jilid 3. Diterjemahkan oleh B.S. Anwir. Penerbit Bhratara Karya Aksara.
- [17] Budinski, K.G, and Budinski, M.K. 1999.*Engineering Materials* (6th Ed.). New Jersey: Prentice – Hall Inc.