

## Analisis pengaruh karburisasi cair terhadap sifat mekanik dan struktur mikro baja AISI 1005

Muhammad Syahid\*, Falah Raditya, Ilyas Renreng

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, Gowa

[\\*syahid@unhas.ac.id](mailto:syahid@unhas.ac.id), [falahradityau@gmail.com](mailto:falahradityau@gmail.com), [ilyas\\_renreng@gmail.com](mailto:ilyas_renreng@gmail.com)

### ABSTRACT

Liquid carburizing is a process of hardening the steel surface by dipping the steel that has been placed into a molten salt solution to enrich the carbon element on the steel surface. This study aims to determine the effect of liquid carburizing on increasing the hardness value, wear resistance, and microstructure of AISI 1005 steel. This liquid carburizing process uses a variation of carburizing time of 2 hours, 3 hours, and 3.5 hours at a temperature of 850 °C with water cooling. The carburizing media used are a mixture of a) 50% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (250 grams), 45% NaCl (225 grams), 5% SiC (25 grams) and b) 75% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (375 grams), 15% NaCl (75 grams), 10% SiC (50 grams). The results show that the liquid carburizing process can increase the hardness value and wear resistance of AISI 1005 steel. The highest increase in hardness value occurred in liquid carburizing using composition B with a carburizing time of 3.5 hours is 827.93 HV. The wear rate value of the material before carburizing processing was 0.21 mg/s. The lowest wear rate value occurs in liquid carburizing using chemical composition B with a carburizing time of 3.5 hours is 0.025 mg/s. The results obtained can be seen that the more SiC composition and the longer the carburizing time followed by rapid cooling cause an increase in the hardness value and wear resistance of the material. The microstructure observation before carburizing shows ferrite and pearlite phases while after carburizing shows ferrite, pearlite, and martensite phases.

**Keywords:** AISI 1005 steel, liquid carburizing, hardness, wear, microstructure

**Received** 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

### PENDAHULUAN

Pengembangan material untuk aplikasi di bidang teknik secara berkelanjutan terus dikembangkan untuk menemukan sifat-sifat yang lebih unggul. Baja merupakan material yang mempunyai peranan penting dalam dunia industri [7]. Salah satu sifat mekanik baja yang berhubungan dengan ketahanan aus adalah kekerasan. Kekerasan merupakan kemampuan material logam dalam menerima gaya berupa penetrasi dan kekuatan [6]. Selama ini sering dijumpai komponen-komponen yang mengalami gesekan terus-menerus dalam fungsi kerjanya, sehingga cepat mengalami keausan. Komponen-komponen itu antara lain roda gigi, piston dan poros. Komponen-komponen tersebut kerjanya bersinggungan dengan komponen lain, sehingga permukaannya akan mengalami keausan dan menyebabkan komponen tersebut mudah rusak. Sifat tahan aus dan tahan pembebanan dari suatu logam dapat diperoleh dengan mempertinggi nilai kekerasan permukaan yang menjadi kontak langsung terjadinya suatu pembebanan tersebut [11]. Untuk mengatasi hal ini maka perlu dilakukan suatu proses yang berguna untuk mengeraskan permukaan

komponen sehingga tahan terhadap gesekan [5]. Salah satu proses perlakuan panas yang dapat mengeraskan permukaan baja adalah dengan cara karburisasi [12]. Pada umumnya, karburisasi terbagi menjadi 3 metode yaitu karburisasi padat, cair, dan gas [9]. Karburisasi adalah proses penambahan unsur karbon pada permukaan logam dengan cara difusi untuk meningkatkan sifat fisis dan mekanisnya [10]. Proses difusi karbon digunakan sebagai proses peningkatan sifat mekanik permukaan yang akan mengurai secara intertisi dalam besi, atom karbon cukup kecil untuk masuk diantara atom Fe yang lebih besar [8]. Untuk mendapatkan struktur mikro dan sifat yang diinginkan pada baja dapat diperoleh melalui proses pemanasan dan pendinginan pada temperatur tertentu. Oleh karena itu untuk mendapatkan kekerasan yang maksimal maka dilakukan pendinginan cepat yaitu dengan media air. Kasus pengerasan permukaan baja telah dilakukan selama bertahun-tahun melalui proses difusi karbon yang memanfaatkan senyawa natrium sianida yang sangat beracun dan berbahaya [13]. Meskipun bagian baja yang diolah dalam rendaman natrium sianida menunjukkan tingkat kekerasan permukaan yang tinggi, kesulitan

penanganan yang aman, dan pembuangan limbah telah menimbulkan masalah yang parah [2]. Karburisasi cair tanpa sianida dilakukan agar mendapatkan kualitas yang sama atau lebih baik daripada karburisasi cair yang menggunakan cairan sianida dan juga untuk mengembangkan rendaman garam cair tanpa sianida yang mampu menghasilkan kedalaman karbon yang seragam, bebas nitrogen pada permukaan baja.

## METODE PENELITIAN

### 2.1. Material

Material yang digunakan adalah baja karbon rendah AISI 1005.

### 2.2. Pelaksanaan penelitian

Spesimen dipotong dengan ukuran panjang 30 mm, lebar 20 mm, dan tinggi 3 mm dimasukkan ke dalam wadah karburisasi yang berisi campuran a) 50%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (250 gram), 45%  $\text{NaCl}$  (225 gram), 5%  $\text{SiC}$  (25 gram) dan b) 75%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (375 gram), 15%  $\text{NaCl}$  (75 gram), 10%  $\text{SiC}$  (50 gram). Selanjutnya wadah karburisasi dimasukkan ke dalam *furnace* dan dipanaskan hingga  $850^\circ\text{C}$  selama waktu yang ditentukan, yaitu 2 jam, 3 jam, dan 3,5 jam. Setelah ditahan selama waktu yang ditentukan, wadah karburisasi dikeluarkan dari *furnace* dan spesimen diambil untuk didinginkan di dalam air. Lalu dilakukan pengujian kekerasan *Vickers*, pengujian keausan *pin on disk tribometer*, dan pengamatan struktur mikro.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil pengujian komposisi

Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan mesin *optical emission spectroscopy* untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung pada *raw material* baja AISI 1005 dan setelah dilakukan karburisasi cair dimana komposisi kimia tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1** Komposisi kimia baja AISI 1005 dan setelah dikarburisasi

No.	Spesimen	Fe (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)
1	Raw material baja AISI 1005	99.5	0.049	0.032	0.187

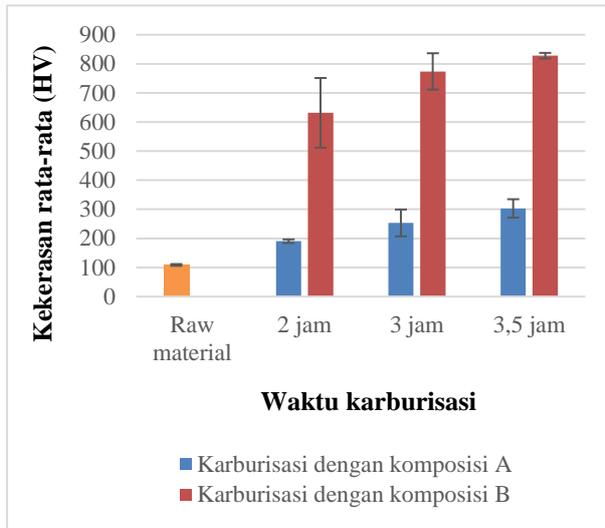
No.	Spesimen	Fe (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)
2	Baja AISI 1005 setelah karburisasi cair 2 jam dengan komposisi A dan <i>quenching</i>	98.9	0.522	0.184	0.172
3	Baja AISI 1005 setelah karburisasi cair 3 jam dengan komposisi A dan <i>quenching</i>	98.2	0.8	0.374	0.182
4	Baja AISI 1005 setelah karburisasi cair 3,5 jam dengan komposisi A dan <i>quenching</i>	98.5	1.02	0.074	0.018
5	Baja AISI 1005 setelah karburisasi cair 2 jam dengan komposisi B dan <i>quenching</i>	98.6	0.644	0.11	0.465
6	Baja AISI 1005 setelah karburisasi cair 3 jam dengan komposisi B dan <i>quenching</i>	99	0.663	0.023	0.18
7	Baja AISI 1005 setelah karburisasi cair 3,5 jam dengan komposisi B dan <i>quenching</i>	98.2	0.786	0.262	0.556
8	Baja AISI 1005 setelah karburisasi cair 2 jam dengan komposisi A dan <i>normalizing</i>	98.6	0.36	0.258	0.569
9	Baja AISI 1005 setelah karburisasi cair 2 jam dengan komposisi B dan <i>normalizing</i>	98.5	0.505	0.291	0.55

### 3.2 Hasil pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan menggunakan metode pengujian *Vickers*. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada material baja AISI 1005 sebelum dan sesudah dikarburisasi cair dengan media pendingin air.

Nilai kekerasan untuk karburisasi cair dengan komposisi B yang diikuti proses pendinginan air untuk semua variasi waktu lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai kekerasan *raw material* dan juga nilai kekerasan pada karburisasi cair dengan komposisi A. Nilai

kekerasan tertinggi terjadi pada hasil karburisasi dengan komposisi B dengan waktu karburisasi 3,5 jam yaitu senilai 827.93 HV.

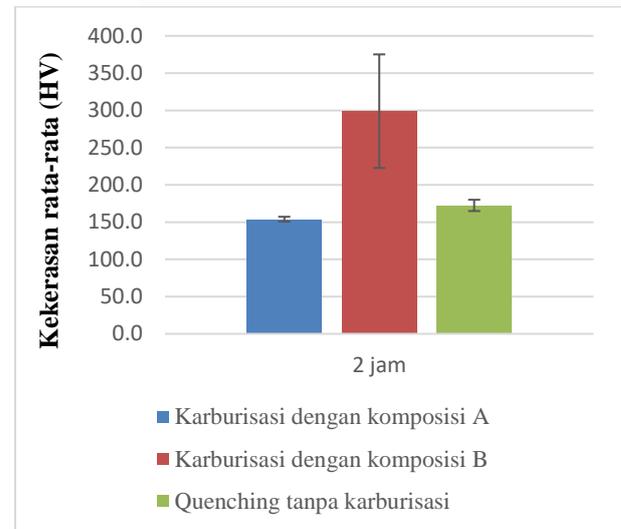


**Gambar 1** Grafik hubungan nilai kekerasan rata-rata karburisasi cair komposisi A dan B dengan waktu karburisasi (*quenching*)

Dari grafik pada gambar 1 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu karburisasi yang diikuti dengan pendinginan cepat maka semakin tinggi kekerasan baja tersebut. Peningkatan nilai kekerasan baja yang dikarburisasi dengan komposisi B juga lebih besar dibandingkan dengan nilai kekerasan pada baja yang dikarburisasi dengan komposisi A. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi silikon karbida (SiC) pada baja yang dikarburisasi maka semakin tinggi nilai kekerasan baja tersebut. Hal ini juga berkaitan dengan penelitian yang dilakukan oleh Waluyo (2010) yang menyatakan bahwa selama proses karburisasi, atom-atom karbon yang terdapat dalam reagen terurai dan berdifusi ke dalam permukaan logam. Dari data penelitian yang telah dilakukan bahwa semakin lama waktu karburisasi kemudian diikuti dengan pendinginan yang cepat dalam baja maka semakin tinggi nilai kekerasannya. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Hasan (2019) juga menyatakan bahwa ketebalan lapisan karburisasi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu sampel berada dalam rendaman garam. Hal ini menyebabkan peningkatan lapisan karburisasi yang efektif dan kedalaman keseluruhan yang terbentuk di permukaan.

Pada gambar 2 menunjukkan grafik nilai kekerasan untuk spesimen yang telah dikarburisasi dengan komposisi A dan komposisi B yang diikuti proses pendinginan

udara, dan proses pendinginan air tanpa karburisasi dapat diketahui bahwa kekerasan pada spesimen yang telah dikarburisasi tanpa diikuti proses pendinginan air juga dapat meningkatkan kekerasan dengan nilai sebesar 153.9 HV dan 298.9 HV. Nilai kekerasan juga terjadi pada spesimen yang dilakukan proses pendinginan air tanpa karburisasi dengan nilai sebesar 172.4 HV. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak komposisi silikon karbida maka semakin tinggi juga nilai kekerasannya walaupun tanpa diikuti proses pendinginan air.



**Gambar 2** Grafik hubungan nilai kekerasan rata-rata karburisasi cair komposisi A, komposisi B dan *quenching* tanpa karburisasi dengan waktu tahan 2 jam

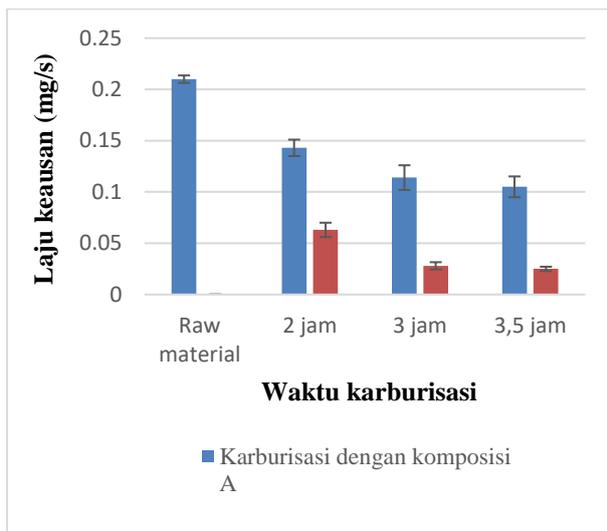
### 3.3 Hasil pengujian keausan

Pengujian keausan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan menggunakan metode pengujian abrasif berdasarkan standar ASTM G99-04. Pengujian dilakukan dengan berat beban sebesar 255 gram.

Nilai laju keausan untuk karburisasi cair dengan komposisi B yang diikuti proses pendinginan air untuk semua variasi waktu lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai kekerasan *raw material* dan juga nilai kekerasan pada karburisasi cair dengan komposisi A. Nilai laju keausan terendah terjadi pada hasil karburisasi cair dengan komposisi B dengan waktu karburisasi 3,5 jam yaitu senilai 0.025 mg/s.

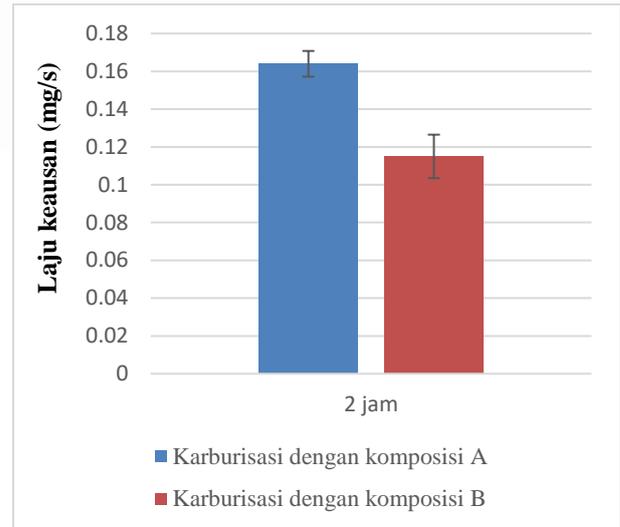
Dari grafik pada gambar 3 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu karburisasi maka semakin rendah laju keausan spesimen tersebut dan juga dapat diketahui bahwa semakin banyak komposisi silikon karbida (SiC) pada

material maka semakin rendah laju keausannya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah nilai laju keausan maka semakin tahan aus suatu spesimen terhadap gesekan. Silva dkk (1999) menyatakan bahwa hasil penelitiannya menunjukkan bahwa keberadaan austenit yang tertahan dalam *casing* karburisasi meningkatkan ketahanan aus abrasif dan meningkatkan umur kelelahan pada uji kelelahan siklus rendah. Hubungan antara kekerasan dengan keausan baja yang telah dikarburisasi dapat diketahui bahwa nilai kekerasan baja semakin bertambah setelah dilakukan *quenching* dan perubahan nilai kekerasan tersebut berbanding terbalik dengan perubahan nilai laju keausan dimana jika kekerasannya tinggi maka nilai keausannya semakin kecil. Hal ini terjadi karena kemampuan ketahanan aus pada baja semakin besar dengan bertambahnya nilai kekerasan pada baja tersebut.



**Gambar 3** Grafik hubungan laju keausan karburisasi cair komposisi A dan B dengan waktu karburisasi (*quenching*)

Pada gambar 4 menunjukkan grafik nilai laju keausan untuk spesimen yang telah dikarburisasi dengan komposisi A dan komposisi B yang diikuti proses pendinginan udara dapat diketahui bahwa laju keausan pada spesimen yang telah dikarburisasi tanpa diikuti proses pendinginan *air* juga dapat meningkatkan ketahanan aus dengan nilai sebesar 0.164 mg/s dan 0.115 mg/s. Sehingga pada grafik dapat diketahui bahwa semakin banyak komposisi silikon karbida (SiC) pada material maka semakin rendah juga laju keausannya walaupun tanpa diikuti proses pendinginan air.

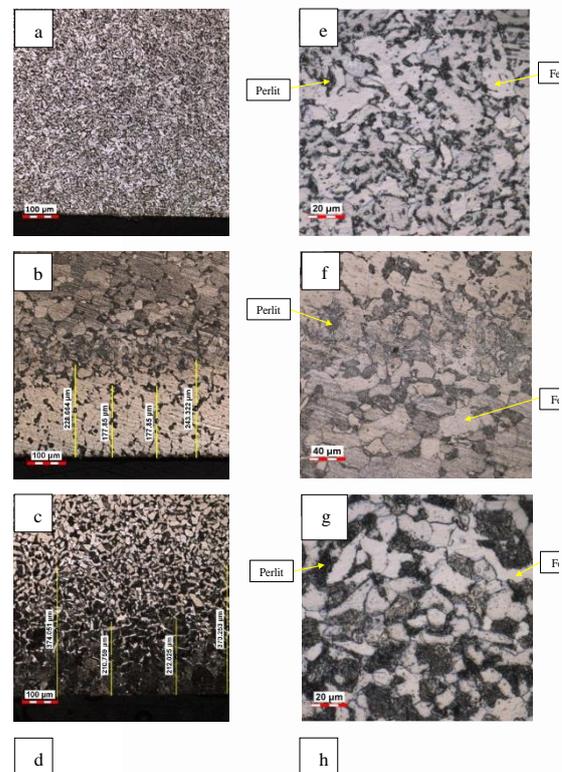


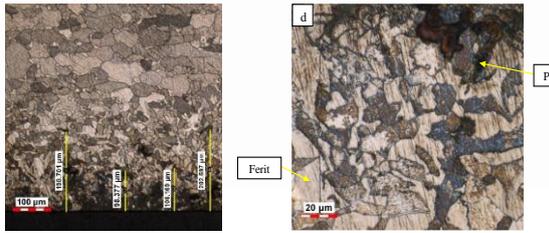
**Gambar 4** Grafik hubungan laju keausan karburisasi cair komposisi A dan B dengan waktu 2 jam (*normalizing*)

### 3.4 Hasil pengamatan struktur mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan menggunakan mikroskop LEXT OLS4100. Struktur mikro *raw material* dan hasil karburisasi dapat dilihat pada gambar 5 sampai 10.

#### 3.4.1 Pengamatan struktur mikro karburisasi dengan komposisi A yang diikuti proses pendinginan air

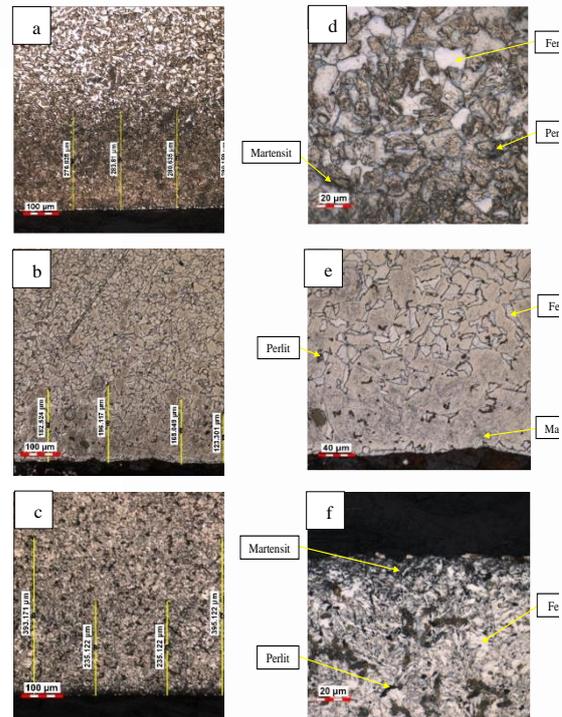




**Gambar 5** Struktur mikro a) *raw material* pembesaran 200 X, b) karburisasi 2 jam pembesaran 200 X, c) karburisasi 3 jam pembesaran 200 X, d) karburisasi 3,5 jam pembesaran 200 X, e) *raw material* pembesaran 1000 X, f) karburisasi 2 jam pembesaran 500 X, g) karburisasi 3 jam pembesaran 1000 X, dan h) karburisasi 3,5 jam pembesaran 1000 X

Gambar 5 merupakan hasil pengamatan struktur mikro dari baja karbon rendah AISI 1005 yang belum mengalami perlakuan panas dan baja yang telah dikarburisasi cair dengan komposisi A pada temperatur 850°C dengan pembesaran 200 X, 500 X, dan 1000 X. *Raw material* mempunyai struktur ferit yang berwarna putih dan lebih mendominasi dibandingkan dengan perlit yang berwarna gelap. Struktur ferit menandakan bahwa baja bersifat lunak namun ulet dan perlit menandakan baja bersifat kuat dan cukup keras. Pada gambar 5 a sampai d dapat dilihat bahwa warna kehitaman adalah atom-atom karbon yang berdifusi dekat permukaan semakin banyak dan karbon yang menuju inti semakin berkurang namun terdapat juga atom karbon yang berdifusi secara tidak merata, dimana pada masing-masing kedalaman difusi karbon rata-ratanya senilai 0.207 mm, 0.291 mm, dan 0.151 mm. Hal ini menunjukkan bahwa atom karbon yang masuk ke dalam baja bernilai tidak konstan. Gambar 5 f sampai h merupakan hasil pengamatan struktur mikro dari baja karbon rendah AISI 1005 yang telah mengalami karburisasi cair dengan komposisi A pada temperatur 850°C terlihat struktur ferit dan perlit yang jumlahnya semakin banyak dan ukuran butirannya mulai merata walaupun pada sisi perlitnya masih terdapat banyak ferit. Peningkatan jumlah perlit yang lebih banyak dibandingkan dengan struktur mikro *raw material* dapat terjadi karena adanya pengaruh penambahan unsur karbon ke dalam material selama proses difusi intersisi [4].

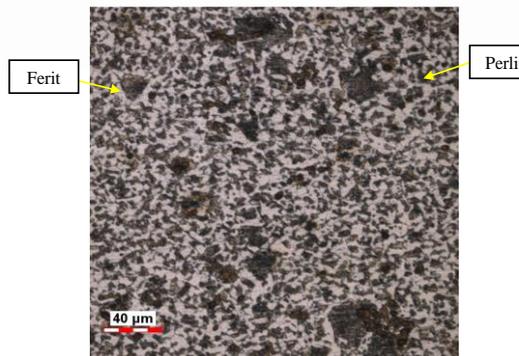
### 3.4.2 Pengamatan struktur mikro karburisasi dengan komposisi B yang diikuti proses pendinginan air



**Gambar 6** Struktur mikro a) karburisasi 2 jam pembesaran 200 X, b) karburisasi 3 jam pembesaran 200 X, c) karburisasi 3,5 jam pembesaran 200 X, d) karburisasi 2 jam pembesaran 1000 X, e) karburisasi 3 jam pembesaran 500 X, dan f) karburisasi 3,5 jam pembesaran 1000 X

Gambar 6 merupakan hasil pengamatan struktur mikro dari baja yang telah dikarburisasi cair dengan komposisi B pada temperatur 850°C dengan pembesaran skala 200 X, 500 X, dan 1000 X. Pada gambar 6 a sampai c terlihat bahwa atom karbon yang berdifusi dekat permukaan merata dan karbon yang menuju inti semakin berkurang, dimana pada masing-masing kedalaman difusi karbon rata-ratanya senilai 0.282 mm, 0.166 mm, dan 0.314 mm. Pada gambar 6 d sampai f dapat diamati bahwa pada bagian permukaan material pengarbonan sesuai dengan variasi waktu karburisasi yang tersusun atas fasa martensit dan austenit sisa setelah mengalami proses karburisasi. Pada permukaan terdapat fasa martensit yang terbentuk karena pendinginan yang sangat cepat. Di dalam matrik martensit terdapat sisa ferit tetapi jumlahnya sedikit. Fasa martensit sifatnya sangat keras namun getas, faktor inilah yang menyebabkan nilai kekerasan pada permukaan baja menjadi meningkat. Dari hasil pengamatan struktur mikro juga dapat dilihat adanya difusi karbon yang berbeda sesuai variasi waktu karburisasi [5].

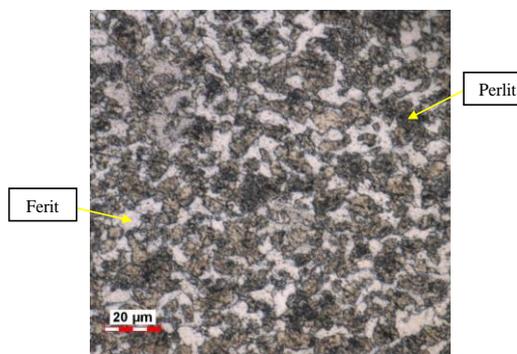
### 3.4.3 Pengamatan struktur mikro karburisasi dengan komposisi A yang diikuti proses pendinginan udara



**Gambar 7** Struktur mikro karburisasi 2 jam dengan pembesaran 500 X

Gambar 7 merupakan hasil pengamatan struktur mikro dari baja yang telah dikarburisasi cair dengan komposisi A tanpa diikuti proses pendinginan air pada temperatur 850°C dengan pembesaran 500 X. Dari gambar 7 terlihat bahwa spesimen yang sudah dilakukan proses perlakuan panas dengan pendinginan udara menghasilkan fasa ferit dan perlit, dimana fasa ferit terlihat lebih banyak dibandingkan perlit.

### 3.4.4 Pengamatan struktur mikro karburisasi dengan komposisi B yang diikuti proses pendinginan udara



**Gambar 8** Struktur mikro karburisasi 2 jam dengan pembesaran 1000 X

Gambar 8 merupakan hasil pengamatan struktur mikro dari baja yang telah dikarburisasi cair dengan komposisi B tanpa diikuti proses pendinginan air pada temperatur 850°C dengan pembesaran 1000 X. Dari gambar 8 menunjukkan bahwa struktur perlit jumlahnya semakin banyak dan ukuran butirannya mulai merata walaupun pada sisi perlitnya masih terdapat ferit. Pada permukaan tidak terdapat fasa martensit yang terbentuk karena pendinginan dilakukan melalui udara.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai kekerasan karburisasi cair dengan komposisi B lebih tinggi daripada karburisasi cair dengan komposisi A karena semakin banyak komposisi silikon karbida (SiC) maka semakin tinggi nilai kekerasan pada baja dan semakin lama waktu karburisasi maka semakin tinggi juga nilai kekerasannya. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada hasil karburisasi cair dengan komposisi B dengan waktu karburisasi 3,5 jam yaitu senilai 827.93 HV.
2. Nilai laju keausan karburisasi cair dengan komposisi B lebih rendah daripada karburisasi cair dengan komposisi A karena semakin banyak komposisi silikon karbida (SiC) maka semakin rendah laju keausan pada baja dan semakin lama waktu karburisasi maka semakin rendah juga laju keausannya. Nilai laju keausan terendah terjadi pada karburisasi cair dengan komposisi B dengan waktu karburisasi 3,5 jam yaitu senilai 0.025 mg/s.
3. Hasil pengamatan struktur mikro sebelum dikarburisasi menunjukkan fasa ferit dan perlit sedangkan setelah dikarburisasi menunjukkan fasa ferit, perlit, dan martensit, dimana jumlah perlit dan martensit terlihat lebih banyak dibandingkan ferit yang menyebabkan tingkat kekerasan semakin tinggi searah dengan meningkatnya variasi waktu karburisasi, namun kedalaman difusi karbonnya mempunyai nilai yang tidak konstan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasan, M.Z., Hussein, A.A., Hasan, A.Sh., & Ali, O.M. (2019). Improvement of AISI 1018 Carbon Steel Gr 1018 Mechanical Properties by Liquid Carburizing in Salt Bath. Materials Today: Proceedings. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.179>
- [2] Jones, W.C., dkk. (1986). Non-Cyanide Salt Bath and Process for Carburizing of Ferrous Metals and Alloys. United States Patent 4.591.397.

- [3] Silva, V.F., dkk. (1999). Influence of Retained Austenite on Short Fatigue Crack Growth and Wear Resistance of Case Carburized Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*. <https://doi.org/10.1007/S11665-999-0007-5>
- [4] Sujita. (2016). Proses Pack Carburizing dengan Media Carburizer Alternatif Serbuk Arang Tongkol Jagung dan Serbuk Cangkang Kerang Mutiara. *Jurnal Mechanical*, Volume 7 Nomor 2. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- [5] Waluyo, J. (2010). Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan pada Proses Karburisasi Cair Terhadap Kekerasan Baja AISI 1025 dengan Media Pendinginan Air. Surakarta: Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret.
- [6] Abdul, F.R., dkk. (2018). Uji Kekerasan dengan Menggunakan Alat Microhardness Vickers pada Berbagai Jenis Material Teknik. *Jurnal Tekno Mesin*, Volume 5 Nomor 1.
- [7] Nurhilal, M. (2017). Pengaruh Temperatur, Holding Time Proses Pack Carburizing Baja Karbon Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik. *Jurnal Teknologi*, Volume 10 Nomor 2, Desember 2017, 153-162.
- [8] Irwan, Y. (2012). Meningkatkan Kekerasan Permukaan Sparepart Lokal Kendaraan Bermotor dengan Cara Karburisasi Cair. *Jurnal Institut Teknologi Nasional-Bandung*.
- [9] Yono, A. (2013). Analisis Pengaruh Panas pada Daerah Penyekatan dalam Proses Karburising Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon. *Jurnal Ilmiah Mustek Anim Ha Vol. 2 No. 2*, Agustus 2013.
- [10] Mujiyono dan Arianto. (2008). Meningkatkan Efektifitas Karburisasi Padat pada Baja Karbon Rendah dengan Optimasi Ukuran Serbuk Arang Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Mesin Vol. 10, No. 1*, April 2008; 8-14.
- [11] Smallman, R.E., dan Bishop R.J., (2000). *Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- [12] Savrai, R.A., Skorynina, P.A., Makarov, A.V., & Osintseva A.L. (2020). Structure and Surface Properties of Metastable Austenitic Steel Subjected to Liquid Carburizing at a Reduced Temperature. *Journal Physics of Metals and Metallography*. <https://doi.org/10.1134/S0031918X20010135>
- [13] Solakian, H., dkk. (1941). Nonpoisonous Carburizing Liquid Bath. United States Patent 2.249.581.