

**PENGARUH PROSES ANNEALING TERHADAP LAPISAN
DIAMOND LIKE CARBON HASIL PROSES *PLASMA*
CHEMICAL VAPOUR DEPOSITION PADA BAJA AISI 410**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata 1
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

M. SYAHRUL MAULANA AL HUJJAZ
D200180151

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH PROSES *ANNEALING* TERHADAP LAPISAN *DIAMOND*
LIKE CARBON HASIL PROSES *PLASMA CHEMICAL VAPOUR*
DEPOSITION PADA BAJA AISI 410**

PUBLIKASI ILMIAH

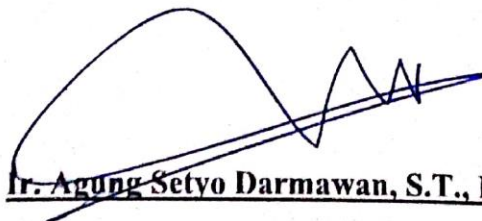
Oleh:

M. SYAHRUL MAULANA AL HUJJAZ

D200180151

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Ir. Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T

NIDN. 0403046701

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PROSES *ANNEALING* TERHADAP LAPISAN *DIAMOND*
LIKE CARBON HASIL PROSES *PLASMA CHEMICAL VAPOUR*
DEPOSITION PADA BAJA AISI 410**

OLEH

M. SYAHRUL MAULANA AL HUJJAZ

D200180151

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Rabu, 20 Juli 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Ir. Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T
(Ketua Dewan Penguji) 
2. Ir. Wijianto, S.T., M.Eng.Sc
(Anggota I Dewan Penguji) 
3. H. Bambang Waluyo Febriantoko, S.T., M.T
(Anggota II Dewan Penguji) 

Dekan,



Edo Etoni, S.T., M.Sc., Ph.D

NIDN. 0603027401

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 30 Juli 2022

Penulis,



M. Syahrul Maulana Al Hujjaz

D200180151

PENGARUH PROSES ANNEALING TERHADAP LAPISAN DIAMOND LIKE CARBON HASIL PROSES PLASMA CHEMICAL VAPOUR DEPOSITION PADA BAJA AISI 410

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses annealing terhadap struktur dan kekerasan lapisan Diamond Like Carbon (DLC) hasil proses Plasma Chemical Vapour Deposition (PCVD) pada material baja AISI 410. Proses annealing dilakukan terhadap material baja AISI 410 pada temperatur 850°C dengan waktu penahanan selama 20 menit dan didinginkan pada temperatur kamar. Selanjutnya dilakukan proses pembentukan lapisan DLC dengan metode PCVD menggunakan gas argon dan LPG dengan rasio flow rate sebesar 9:1 pada tekanan 1,6 mbar, temperatur 400°C, dan waktu pelapisan selama 4 jam. Hasil pengujian Raman Spectroscopy menunjukkan bahwa struktur lapisan DLC pada baja AISI 410 yang tidak dilakukan annealing memiliki kandungan sp^3 (diamond) lebih banyak dibandingkan dengan lapisan DLC pada baja AISI 410 yang dilakukan annealing. Hasil pengujian kekerasan mikro Vickers menunjukkan bahwa lapisan DLC pada baja AISI 410 yang tidak dilakukan annealing memiliki nilai kekerasan yang lebih besar yaitu sebesar 914,14 VHN dibandingkan dengan lapisan DLC pada baja AISI 410 yang dilakukan annealing yaitu sebesar 612,30 VHN.

Kata Kunci : Diamond Like Carbon, Baja AISI 410, PCVD, Raman Spectroscopy, Vickers

Abstract

This study aims to determine the effect of annealing process on the structure and hardness of Diamond Like Carbon (DLC) layer resulting from Plasma Chemical Vapour Deposition (PCVD) process on AISI 410 stainless steel material. The annealing process was carried out on AISI 410 stainless steel material at temperature 850°C with holding time 20 minutes and cooled to room temperature. Furthermore, the process of forming DLC layer was carried out using PCVD method using argon gas and LPG with flow rate ratio 9:1 at pressure 1,6 mbar, temperature 400°C, and coating time 4 hours. The results of Raman Spectroscopy test showed that DLC layer structure on AISI 410 stainless steel which was not annealed had more sp^3 (diamond) content than DLC layer on AISI 410 stainless steel which was annealed. The results of Vickers microhardness test showed that DLC layer on AISI 410 stainless steel which was not annealed had a greater hardness value of 914,14 VHN compared to DLC layer on AISI 410 stainless steel which was annealed which was 612,30 VHN.

Keywords : Diamond Like Carbon, AISI 410 Stainless Steel, PCVD, Raman Spectroscopy, Vickers

1. PENDAHULUAN

Material baja tahan karat AISI 410 memiliki berbagai pengaplikasian pada bidang teknik seperti sekrup, katup, poros, bantalan, bilah pada kompresor dan turbin, dan lain sebagainya. Material ini memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi. Namun karena penerapannya pada komponen dengan regangan yang tinggi, mengakibatkan kegagalan kelelahan karena deformasi plastis lokal (Adinoyi dkk, 2019).

Perlakuan pada material seperti perlakuan panas (*heat treatment*) diperlukan untuk menghasilkan sifat mekanik yang efektif dalam mencegah terjadinya deformasi plastis yang besar. Perlakuan panas seperti *annealing* dapat meningkatkan kelunakan, keliatan, ketangguhan, dan menghasilkan struktur mikro tertentu (Darmawan dan Masyrukan, 2019).

Selain perlakuan panas, perlakuan pada material seperti perlakuan permukaan (*surface treatment*) berupa lapisan diperlukan untuk meningkatkan sifat permukaan material karena kegagalan seperti kelelahan, keausan, dan korosi yang berasal langsung dari permukaan material. Salah satu metode dalam pembentukan lapisan pada permukaan material adalah *Diamond Like Carbon* (DLC). Metode ini menghasilkan sifat material yang baik seperti kekerasan tinggi, koefisien gesek rendah, dan meningkatkan ketahanan aus dan korosi di bawah kondisi kerja yang ekstrem (Kovacı dkk, 2020).

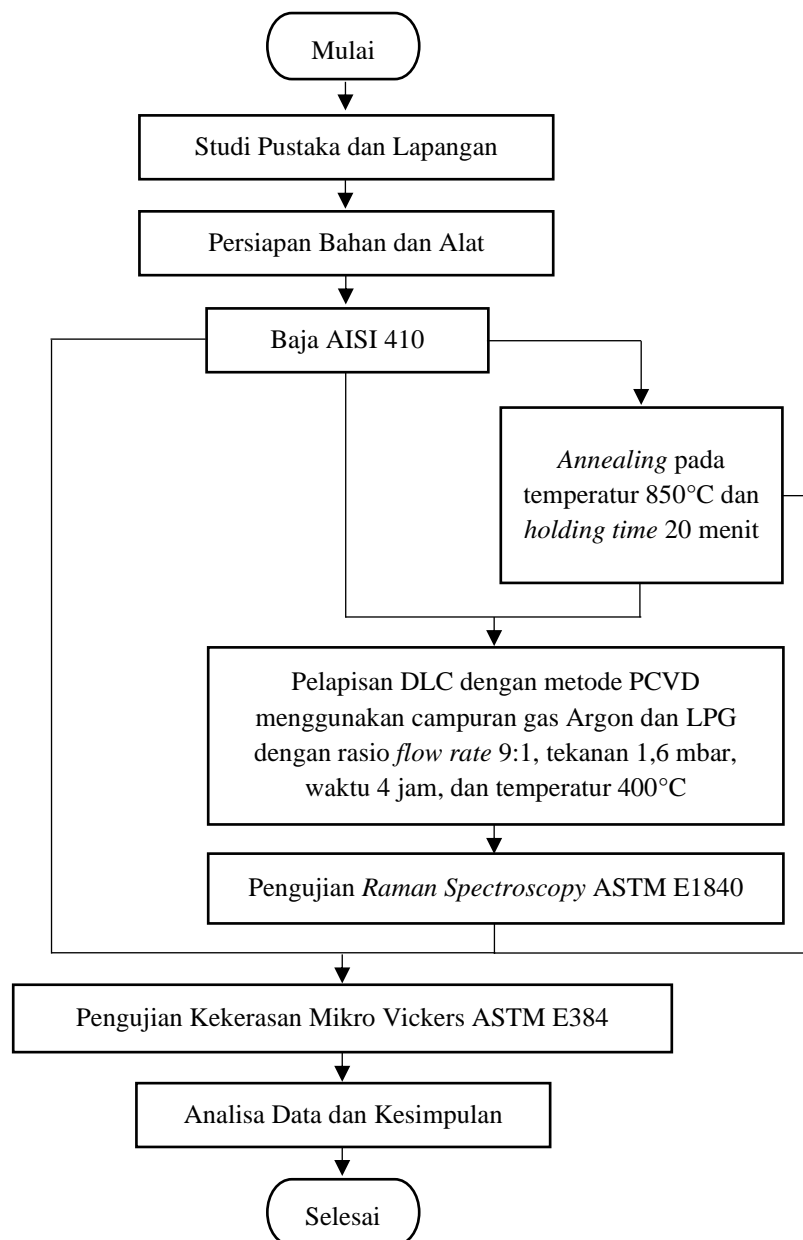
Pembentukan lapisan DLC pada permukaan logam dengan metode *Plasma Chemical Vapour Deposition* (PCVD) biasanya menggunakan campuran dari gas hidrokarbon dan argon (Ar). Beberapa gas hidrokarbon yang paling banyak digunakan antara lain metana (CH₄), etana (C₂H₆), propana (C₃H₈), butana (C₄H₁₀), dan benzena (C₆H₆). Bahan-bahan ini memiliki harga yang mahal. Bahan hidrokarbon dapat diganti menggunakan bahan lain seperti *Liquified Petroleum Gas* (LPG). Sebesar 97,5% gas LPG merupakan campuran dari propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀), dan sisanya adalah hidrokarbon seperti etana (C₂H₆) dan pentana (C₅H₁₂) dan pengotor lainnya dengan kadar yang sangat rendah. Gas LPG memiliki harga lebih murah dan mudah didapatkan di pasaran (Suprpto dkk, 2018).

Berdasarkan uraian di atas maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh proses *annealing* terhadap struktur dan kekerasan lapisan DLC yang dibentuk dengan metode PCVD pada material baja AISI 410.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Terdapat beberapa tahapan dalam melakukan penelitian ini, yaitu sesuai dengan diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah baja AISI 410 dengan komposisi C (0,1-0,15%), Si (0,8%), Mn (1,00%), P (0,03%), S (0,035%), Ni (0,06%), dan Cr (12-13%).

2.3 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi mesin bubut, tungku pemanas (*furnace*), amplas dan mesin amplas, perangkat *DC Plasma Glow Discharge*, perangkat uji *Raman Spectroscopy*, dan perangkat uji kekerasan mikro Vickers.

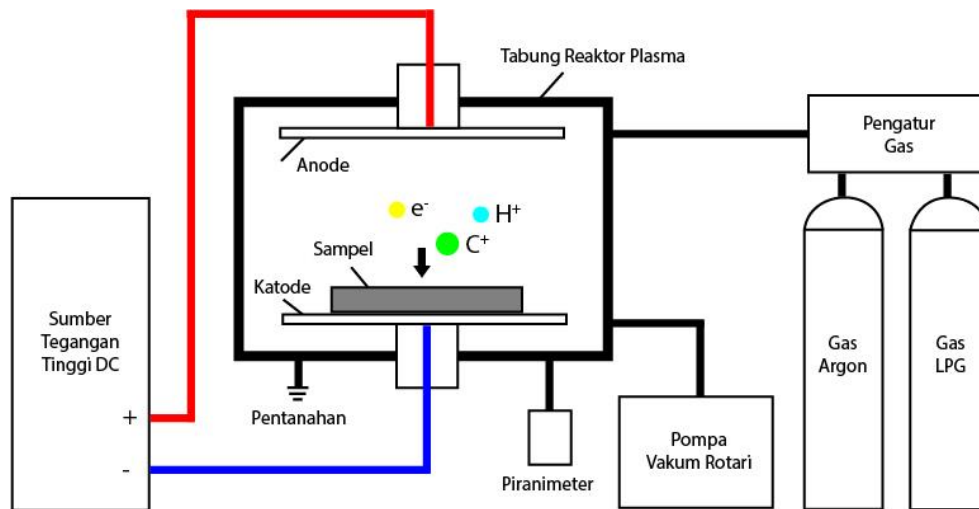
2.4 Persiapan Sampel

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam persiapan sampel baja AISI 410 untuk pelapisan DLC:

1. Bahan berbentuk silindris pejal dibubut sampai diameter 15 mm kemudian dipotong dengan ketebalan 5 mm menggunakan mesin bubut.
2. Proses *annealing* dilakukan pada temperatur 850°C dengan waktu penahanan selama 20 menit, setelah itu dibiarkan mendingin di dalam tungku pemanas hingga temperatur kamar.
3. Proses pengamplasan pada permukaan bahan dengan menggunakan mesin amplas dan lembar amplas secara berurutan dimulai dari nomor grid terendah yaitu 400, 800, 1000, 2000, dan 3000 sehingga menghasilkan permukaan bahan yang rata dan halus.
4. Proses pemolesan bahan dilakukan secara manual dengan menggosokkan kain beludru serta autosol sebagai cairan poles.
5. Bahan dibilas dengan air dan sabun kemudian dibersihkan dengan alkohol 70% setelah itu dikeringkan dengan angin.

2.5 Pembentukan Lapisan DLC

Setelah persiapan sampel selanjutnya dilakukan proses pembentukan lapisan DLC. Skema pembentukan lapisan DLC dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Pembentukan Lapisan DLC Dengan Metode PCVD

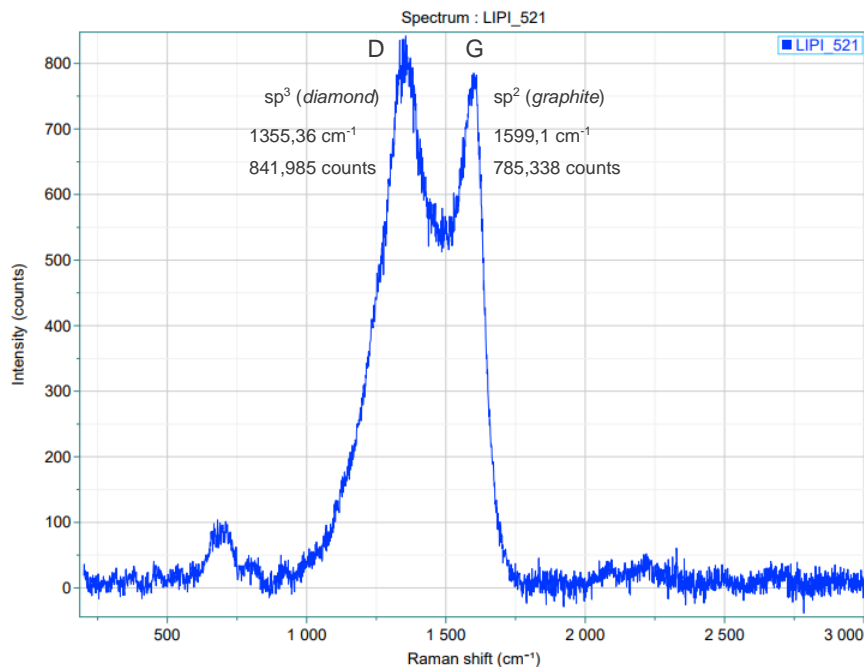
Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pembentukan lapisan DLC:

1. Sampel diletakkan di atas katoda yang terdapat di dalam tabung reaktor.
2. Proses pemvakuman menggunakan pompa vakum rotari hingga tekanan mencapai 10^{-2} mbar, tekanan kevakuman dapat dilihat pada piranimeter.
3. Pemanasan awal dilakukan dengan mengalirkan gas argon ke dalam tabung reaktor kemudian mengatur tegangan tinggi hingga temperatur pelapisan DLC tercapai dan plasma di dalam tabung reaktor terbentuk, reaksi plasma dapat dilihat pada jendela bidik.
4. Gas LPG dialirkan ke dalam tabung reaktor kemudian mengatur *flow rate* gas argon dan LPG dengan rasio sebesar 9:1 hingga tekanan di dalam tabung reaktor sekitar 1 mbar.
5. Mengatur parameter tekanan 1,6 mbar dan temperatur 400°C kemudian mempertahankan nilai parameter agar tetap terjaga sampai proses pelapisan selama 4 jam.
6. Setelah waktu pelapisan selesai kemudian mematikan panel operasi dan menutup aliran gas dari tabung gas lalu membuang sisa gas di dalam tabung reaktor melalui katup saluran pembuangan.
7. Melakukan proses pendinginan dengan membiarkan sampel tetap berada di dalam bejana reaktor hingga temperatur kamar.

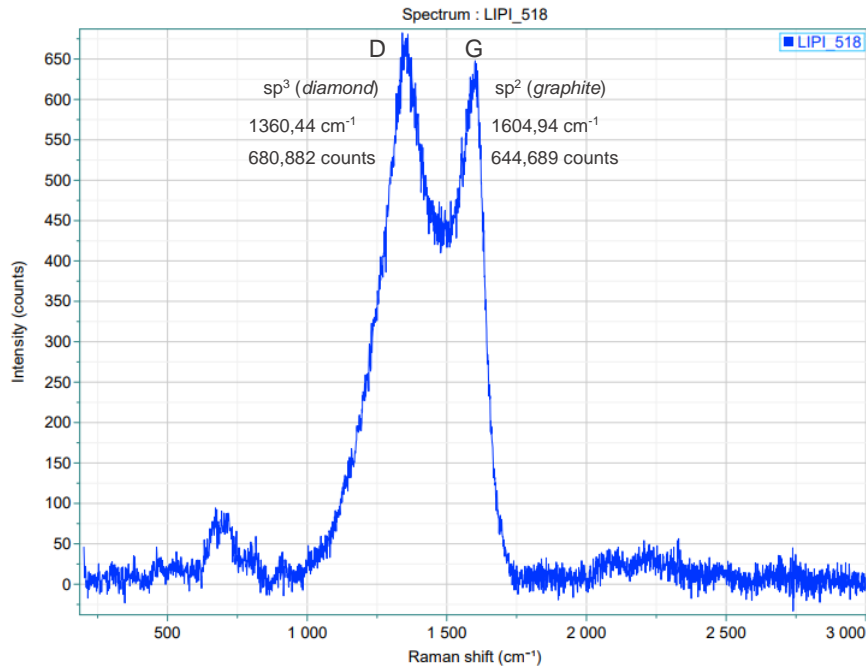
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian *Raman Spectroscopy*

Pengujian *Raman Spectroscopy* bertujuan untuk mengetahui nilai rasio intensitas puncak D dan puncak G yang dapat diidentifikasi untuk menentukan secara kualitatif struktur kandungan sp^3 (*diamond*) dan sp^2 (*graphite*) pada lapisan DLC. Pada penelitian ini dilakukan pengujian *Raman Spectroscopy* pada dua jenis sampel material baja AISI 410, antara lain baja AISI 410 *raw* yang dilapisi DLC yang diberi nama sampel DLC RAW AISI 410 dan baja AISI 410 anil yang dilapisi DLC yang diberi nama sampel DLC ANIL AISI 410. Pengujian *Raman Spectroscopy* menggunakan alat RAMAN HORIBA iHR320 milik Laboratorium Karakterisasi Lanjut-BRIN Serpong. Pengujian dilakukan dengan panjang gelombang eksitasi laser sebesar 532 nm pada rentang *Raman shift* sebesar 200 – 3000 cm^{-1} . Hasil pengujian berupa gambar spektrum yang dapat dilihat pada Gambar 3 untuk sampel DLC RAW AISI 410 dan Gambar 4 untuk sampel DLC ANIL AISI 410.



Gambar 3. Hasil Uji *Raman Spectroscopy* sampel DLC RAW AISI 410



Gambar 4. Hasil Uji *Raman Spectroscopy* sampel DLC ANIL AISI 410

Berdasarkan hasil pengujian *Raman Spectroscopy* pada sampel DLC RAW AISI 410 sesuai Gambar 3 diperoleh puncak D (sp^3) pada rentang *Raman shift* sebesar $1355,36 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas sebesar 841,985 counts dan puncak G (sp^2) diperoleh pada rentang *Raman shift* sebesar $1599,1 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas sebesar 785,338 counts. Sedangkan pada sampel DLC ANIL AISI 410 sesuai Gambar 4 diperoleh puncak D (sp^3) pada *Raman shift* sebesar $1360,44 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas sebesar 680,882 counts dan puncak G (sp^2) diperoleh pada *Raman shift* sebesar $1604,94 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas sebesar 644,689 counts. Menurut Ferrari dan Robertson (2000) pada hasil spektrum Raman lapisan *Diamond Like Carbon* (DLC) terdapat dua jenis puncak yang cukup tajam yaitu puncak D dan puncak G. Puncak D berada pada rentang *shift* sekitar 1350 cm^{-1} sedangkan puncak G berada pada rentang *shift* sekitar $1580 - 1600 \text{ cm}^{-1}$. Dengan demikian menunjukkan bahwa kedua sampel tersebut terbentuk lapisan DLC.

Pada nilai intensitas puncak kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui rasio intensitas puncak D dan puncak G (I_D/I_G) pada masing-masing sampel yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Rasio Intensitas} = \frac{I_D}{I_G}$$

Keterangan:

I_D : Intensitas puncak D (counts)

I_G : Intensitas puncak G (counts)

Perhitungan rasio intensitas puncak D dan G pada sampel DLC RAW AISI 410 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Rasio Intensitas} &= \frac{841,985 \text{ counts}}{785,338 \text{ counts}} \\ &= 1,07\end{aligned}$$

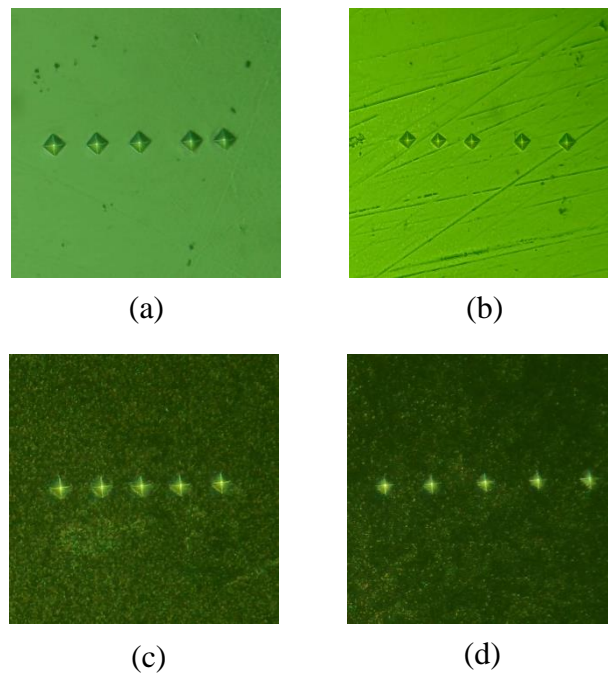
Perhitungan rasio intensitas puncak D dan G pada sampel DLC ANIL AISI 410 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Rasio Intensitas} &= \frac{680,882 \text{ counts}}{644,689 \text{ counts}} \\ &= 1,05\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil data yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai intensitas puncak D dan G pada sampel DLC RAW AISI 410 lebih tinggi dibandingkan dengan sampel DLC ANIL AISI 410 dan pada nilai rasio I_D/I_G pada sampel DLC RAW AISI 410 diperoleh nilai lebih besar yaitu sebesar 1,07 dibandingkan dengan sampel DLC ANIL AISI 410 yaitu sebesar 1,05. Hasil perhitungan rasio I_D/I_G pada kedua sampel menunjukkan bahwa nilai intensitas dari perbandingan *diamond* dan *graphite* >1 yang menandakan bahwa lapisan DLC yang terbentuk pada permukaan kedua sampel tersebut lebih banyak kandungan *diamond*. Semakin besar nilai rasio I_D/I_G menandakan bahwa semakin banyak kandungan sp^3 (*diamond*) pada lapisan DLC tersebut. Dengan demikian kandungan sp^3 (*diamond*) pada sampel DLC RAW AISI 410 lebih banyak daripada sampel DLC ANIL AISI 410.

3.2 Pengujian Kekerasan Mikro Vickers

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan mikro Vickers pada empat jenis sampel material baja AISI 410, antara lain baja AISI 410 *raw* yang diberi nama sampel RAW AISI 410, baja AISI 410 anil yang diberi nama sampel ANIL AISI 410, baja AISI 410 *raw* yang dilapisi DLC yang diberi nama sampel DLC RAW AISI 410, dan baja AISI 410 anil yang dilapisi DLC yang diberi nama sampel DLC ANIL AISI 410. Pengujian kekerasan mikro Vickers menggunakan alat *Matsuzawadigital Micro Hardness Tester* MMT-X7 milik PRTA-BRIN Yogyakarta. Pengujian kekerasan permukaan menggunakan *microindentation* pada masing-masing sampel sebanyak lima titik dengan beban yang digunakan sebesar 10 gf dan waktu indentasi selama 10 detik. Gambar penampang hasil pengujian kekerasan mikro Vickers dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Penampang Hasil Pengujian Kekerasan Mikro Vickers Pada Sampel (a) RAW AISI 410, (b) ANIL AISI 410, (c) DLC RAW AISI 410, dan (d) DLC ANIL AISI 410

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan mikro Vickers sesuai ASTM E384 diperoleh data yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Mikro Vickers

Sampel	Titik Uji	d ₁ (μm)	d ₂ (μm)	Beban (gf)	Kekerasan Pada Titik Uji (VHN)	Kekerasan Rata-Rata (VHN)
RAW AISI 410	1	8,05	8,04	10	286,45	289,49
	2	7,95	8,12	10	287,17	
	3	7,97	8,03	10	289,69	
	4	7,88	8,02	10	293,34	
	5	8,08	7,89	10	290,78	
ANIL AISI 410	1	9,38	9,3	10	212,53	242,45
	2	8,94	9,28	10	223,39	
	3	8,69	8,57	10	248,94	
	4	7,97	8,01	10	290,41	
	5	8,86	8,83	10	236,98	
DLC RAW AISI 410	1	5,42	6,02	10	566,65	914,14
	2	4,75	4,44	10	878,09	
	3	3,63	4,48	10	1127,53	
	4	4,64	3,62	10	1086,95	
	5	4,86	4,16	10	911,5	
DLC ANIL AISI 410	1	5,4	5,49	10	625,34	612,30
	2	5,49	5,4	10	625,34	
	3	5,51	5,4	10	623,05	
	4	6,2	5,33	10	557,84	
	5	5,47	5,38	10	629,96	

Dari data hasil pengujian kekerasan mikro Vickers yang diperoleh pada Tabel 1 terdapat peningkatan nilai kekerasan pada permukaan material setelah

diberi lapisan *Diamond Like Carbon* (DLC). Pada sampel RAW AISI 410 memiliki kekerasan Vickers sebesar 289,49 VHN kemudian setelah diberi lapisan DLC menghasilkan kekerasan Vickers sebesar 914,14 VHN. Sedangkan pada sampel ANIL AISI 410 memiliki kekerasan Vickers sebesar 242,45 VHN kemudian setelah diberi lapisan DLC menghasilkan kekerasan Vickers sebesar 612,30 VHN.

Peningkatan kekerasan pada permukaan material terjadi karena adanya lapisan DLC yang terbentuk dari proses plasma berupa proses penguraian gas hidrokarbon dan proses ionisasi. Pada proses penguraian gas hidrokarbon terjadi peristiwa disosiasi yaitu pemisahan molekul gas hidrokarbon menjadi atom-atom penyusunnya akibat tumbukan antara elektron-elektron bebas dengan partikel-partikel gas. Hasil dari proses penguraian ini terbentuk ion-ion karbon dan hidrogen bermuatan positif. Sedangkan pada proses ionisasi, ion karbon dan hidrogen yang terbentuk karena adanya beda potensial akan bergerak menuju katoda dan menumbuk spesimen yang terdapat pada katoda. Hasil dari tumbukan tersebut menyebabkan atom-atom yang terdapat pada permukaan spesimen terlepas dan selanjutnya bereaksi dengan ion karbon dan hidrogen membentuk senyawa baru yang kemudian akan terdeposisi ke permukaan spesimen membentuk lapisan tipis. Sebagian atom-atom karbon akan berdifusi ke bagian yang lebih dalam dan membentuk larutan padat (Suprpto, 2018).

Nilai kekerasan lapisan pada sampel DLC RAW AISI 410 lebih besar dibandingkan dengan lapisan pada sampel DLC ANIL AISI 410. Hal ini karena lapisan pada sampel DLC RAW AISI 410 memiliki kandungan *diamond* yang lebih banyak dibandingkan dengan lapisan pada sampel DLC ANIL AISI 410. Hasil ini selaras dengan hasil pengujian *Raman Spectroscopy* pada kedua sampel tersebut.

Prosentase peningkatan kekerasan Vickers pada lapisan sampel DLC RAW AISI 410 dan sampel DLC ANIL AISI 410 selanjutnya dihitung dengan metode berikut.

Perhitungan peningkatan kekerasan Vickers pada lapisan sampel DLC RAW AISI 410 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ kenaikan} &= \frac{914,14 - 289,49}{289,49} \times 100 \% \\ &= 215,78 \% \end{aligned}$$

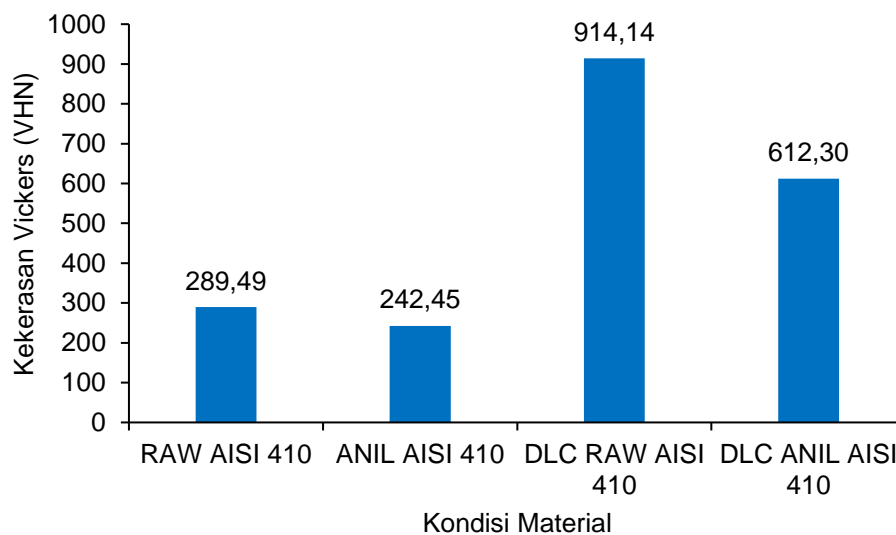
Peningkatan kekerasan Vickers pada lapisan sampel DLC RAW AISI 410 adalah sebesar 215,78 %.

Perhitungan peningkatan kekerasan Vickers pada lapisan sampel DLC ANIL AISI 410 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ kenaikan} &= \frac{612,30 - 242,45}{242,45} \times 100 \% \\ &= 152,55 \% \end{aligned}$$

Peningkatan kekerasan Vickers pada lapisan sampel DLC ANIL AISI 410 adalah sebesar 152,55 %.

Berdasarkan data kekerasan Vickers yang diperoleh dapat dibuat menjadi histogram yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Histogram Kekerasan Vickers

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, analisis data dan pembahasan tentang pengaruh proses *annealing* terhadap lapisan *Diamond Like Carbon* hasil proses *Plasma Chemical Vapour Deposition* pada baja AISI 410 maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian *Raman Spectroscopy* diketahui bahwa nilai rasio I_D/I_G pada lapisan DLC baja AISI 410 yang tidak dilakukan *annealing* lebih besar yaitu sebesar 1,07 dibandingkan dengan lapisan DLC pada baja AISI 410 yang dilakukan *annealing* yaitu sebesar 1,05. Hal ini menunjukkan bahwa struktur lapisan DLC pada baja AISI 410 yang tidak dilakukan *annealing* memiliki kandungan sp^3 (*diamond*) lebih banyak dibandingkan dengan lapisan DLC pada baja AISI 410 yang dilakukan *annealing*.
2. Dari hasil pengujian kekerasan mikro Vickers diketahui bahwa lapisan DLC pada baja AISI 410 yang tidak dilakukan *annealing* memiliki nilai kekerasan yang lebih besar yaitu sebesar 914,14 VHN dibandingkan dengan lapisan DLC pada baja AISI 410 yang dilakukan *annealing* yaitu sebesar 612,30 VHN.

4.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, antara lain:

1. Perlu dilakukan pengujian karakterisasi lainnya seperti *X-Ray Photoelectron Spectroscopy* (XPS), *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) atau *Electron Energy Loss Spectroscopy* (EELS) untuk mengetahui kuantitas kandungan sp^3 pada lapisan DLC.
2. Untuk penelitian berikutnya perlu dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui ketebalan lapisan DLC.
3. Untuk dikembangkan lebih lanjut dapat mengganti parameter seperti rasio *flow rate* gas argon dan LPG, tekanan, temperatur, dan waktu pelapisan yang tepat untuk memperoleh struktur dan kekerasan yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinoyi, M. J., Merah, N., & Albinmousa, J. (2019). Strain-Controlled Fatigue and Fracture of AISI 410 Stainless Steel. *Engineering Failure Analysis*. doi:10.1016/j.engfailanal.2019.104166
- Anhar, W., Jamal, N., & Suprpto. (2017). Pengaruh Post-Treatment Plasma CVD Lapisan Diamond-Like Carbon Terhadap Sifat Kekerasan Permukaan Baja AISI 410.
- ASTM International. (2005). Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials. *ASTM E384*.
- ASTM International. (2007). Raman Shift Standards for Spectrometer Calibration. *ASTM E1840*.
- Darmawan, A. S., & Masyrukan. (2019). *Struktur dan Sifat Material*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Ferrari, A. C., & Robertson, J. (2000). Interpretation of Raman Spectra of Disordered and Amorphous Carbon.
- Ferreira, F., Cavaleiro, A., & Oliveira, J. (2020). Tribological Performance of DLC Coatings Deposited by DOMS in Mixed Ar-Ne Discharges. *Materials Letters*. doi:10.1016/j.matlet.2020.129056
- Irmer, G., & Dorner-Reisel, A. (2005). Micro-Raman Studies on DLC Coatings. *Advanced Engineering Materials*. doi:10.1002/adem.200500006
- Iwamoto, Y., Takenami, K., Takamura, R., Inoue, M., Hirara, Y., Akasaka, H., & Ohtake, N. (2019). Preparation of DLC Films on Inner Surfaces of Metal Tubes by Nanopulse Plasma CVD. *Surface & Coatings Technology*. doi:10.1016/j.surfcoat.2019.125062
- Kovacı, H., Bozkurt, Y. B., Yetim, A. F., Baran, Ö., & Çelik, A. (2020). Corrosion and Tribocorrosion Properties of Duplex Surface Treatments Consisting of Plasma Nitriding and DLC Coating. *Tribology International*. doi:10.1016/j.triboint.2020.106823
- Lan, R., Ma, Z., Wang, C., Lu, G., Yuan, Y., & Shi, C. (2019). Microstructural and Tribological Characterization of DLC Coating by In-Situ Duplex Plasma

- Nitriding and Arc Ion Plating. *Diamond & Related Materials*. doi:10.1016/j.diamond.2019.107473
- Prasetyo, M. A., Anwar, M. S., Mabruhi, E., Agustiningtyas, D. T., Noviana, R. C., & Laksono, A. D. (2020). Pengaruh Perlakuan Panas Baja Tahan Karat Martensitik AISI 410 Terhadap Struktur Mikro dan Ketahanan Korosi di Lingkungan Simulasi Geothermal dalam Larutan Artificial Brine. *Teknik*. doi:10.14710/teknik.v41n2.24690
- Roberge, P. R. (1999). *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Robertson, J. (2002). Diamond-Like Amorphous Carbon. *Materials Science and Engineering*.
- Sani, R. A. (2019). *Karakterisasi Material*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Suprpto. (2018). *Pengembangan Teknologi Plasma Untuk Nitridasi*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Suprpto, Sujitno, T., Andriyanti, W., & Pribadi, B. (2018). The Formation of Diamond Like Carbon on Carbon Steel Using Plasma of Argon-Liquified Petroleum Gas Mixing. doi:10.1063/1.5054426
- Supriyono. (2017). *Material Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Wang, Y., Cao, X., Zhang, Z., Huang, K., Peng, G., Fang, T., . . . Wu, J. (2019). Formation and Wear Performance of Diamond-Like Carbon Films on 316L Stainless Steel Prepared by Cathodic Plasma Electrolytic Deposition. *Diamond & Related Materials*. doi:10.1016/j.diamond.2019.04.008