

PENGARUH TEKANAN GAS TERHADAP KETEBALAN DAN KEKERASAN LAPISAN DIAMOND LIKE CARBON HASIL PROSES PLASMA CHEMICAL VAPOUR DEPOSITION PADA BAJA AISI 410 YANG DIANIL

Redwan Cahyo Putro; Agung setyo Darmawan
Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap ketebalan lapisan DLC metode PCVD pada baja AISI 410 yang dianil dan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap ketebalan dan kekerasan dengan metode PCVD pada baja AISI 410 yang dianil. Pada penelitian ini, material yang digunakan yaitu baja AISI 410 dilakukan perlakuan panas menggunakan temperatur 850°C dengan waktu penahanan 20 menit. Teknik yang digunakan adalah DLC dengan metode PCVD menggunakan campuran plasma argon dan gas acetylene. Kemudian dilakukan pengujian SEM-EDS mengacu pada standart ASTM E986 dan pengujian kekerasan metode vickers mengacu pada standart ASTM E384. Dari hasil pengujian SEM-EDS didapatkan hasil ketebalan lapisan rata-rata pada tekanan 1,0 mbar sebesar 12,353 μm , 1,2 mbar sebesar 12,997 μm , 1,4 mbar sebesar 15,213 μm dan 1,6 mbar sebesar 15,493 μm . Maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan maka ketebalan lapisan akan semakin meningkat. Dari hasil pengujian kekerasan dapat diketahui bahwa nilai kekerasan tertinggi pada sampel variasi tekanan 1,6 mbar memiliki nilai kekerasan vickers dengan rata-rata sebesar 575,68 VHN. Sedangkan nilai kekerasan terendah didapat pada sampel baja AISI 410 yang diannealing memiliki nilai kekerasan vickers rata-rata sebesar 241,5 VHN. Pada rentang tekanan yang diuji semakin besar tekanan semakin tinggi kekerasan.

Kata kunci: Annealing, Pengelasan, Kekerasan, Struktur mikro

Abstract

This research aims to determine the effect of pressure on the thickness of the DLC layer using the PCVD method on annealed AISI 410 steel and to determine the effect of pressure on the thickness and hardness using the PCVD method on annealed AISI 410 steel. In this research, the material used, namely AISI 410 steel, was heat treated using a temperature of 850°C with a holding time of 20 minutes. The technique used is DLC with the PCVD method using a mixture of argon plasma and acetylene gas. Then SEM-EDS testing was carried out referring to the ASTM E986 standard and Vickers method hardness testing referring to the ASTM E384 standard. From the SEM-EDS test results, the average layer thickness at a pressure of 1.0 mbar was 12.353 μm , 1.2 mbar was 12.997 μm , 1.4 mbar was 15.213 μm and 1.6 mbar was 15.493 μm . So it can be concluded that the higher the pressure, the layer thickness will increase. From the hardness test results, it can be seen that the highest hardness value in the sample with a pressure variation of 1.6 mbar has a Vickers hardness value with an average of 575.68 VHN. Meanwhile, the lowest hardness value was obtained in the annealed AISI 410 steel sample which had an average Vickers hardness value of 241.5 VHN. In the pressure range tested, the greater the pressure, the higher the hardness.

Keywords: Annealing, Welding, Hardness, Microstructure

1. PENDAHULUAN

Material baja tahan karat AISI 410 mempunyai bermacam pengaplikasian pada bidang teknik seperti sekrup, katup, poros, bantalan, bilah pada kompresor dan turbin, serta lain sebagainya. Material ini mempunyai ketahanan yang baik terhadap korosi. Tetapi sebab penerapannya pada komponen dengan regangan yang tinggi, berdampak 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).

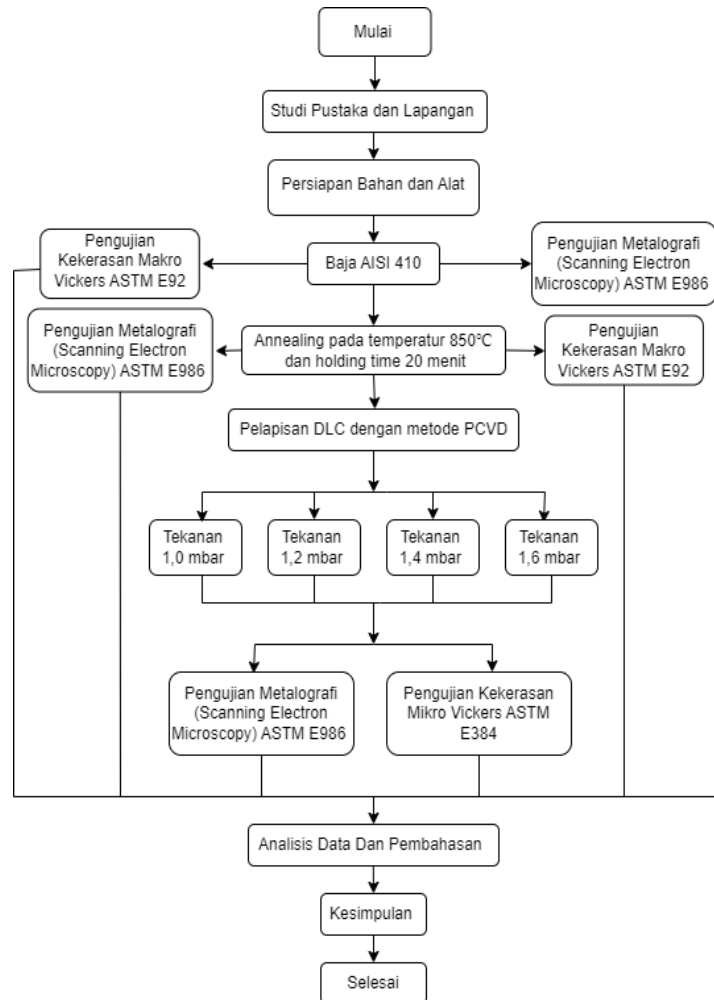
Selain perlakuan panas, perlakuan pada material seperti perlakuan permukaan (*surface treatment*) berupa lapisan diperlukan untuk meningkatkan sifat permukaan material karena kegagalan seperti kelelahan, keausan, dan korosi yang berasal langsung dari permukaan material. Salah satu metode dalam pembentukan lapisan pada permukaan material adalah pembentukan lapisan 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 (CH_4), etana (C_2H_6), propana (C_3H_8), butana (C_4H_{10}), dan benzena (C_6H_6). Bahan-bahan ini memiliki harga yang mahal. Bahan hidrokarbon dapat diganti menggunakan bahan lain seperti Liquefied Petroleum Gas (LPG). Sebesar 97,5% gas LPG merupakan campuran dari propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), dan sisanya adalah hidrokarbon seperti etana (C_2H_6), dan 2 pentana (C_5H_{12}) dan pengotor lainnya dengan kadar yang sangat rendah. Gas LPG memiliki harga lebih murah dan mudah didapatkan di pasaran (Suprpto dkk, 2017). Berdasarkan uraian di atas maka dilakukan penelitian untuk

mengetahui pengaruh proses annealing terhadap lapisan DLC yang dibentuk dengan metode PCVD pada material baja AISI 410.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang bertujuan mengetahui sebab – akibat. Penelitian ini dilakukan mengetahui pengaruh tekanan terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan *diamond like carbon* pada baja aisi 410 yang dianil. Pengujian yang dilakukan adalah dengan pengujian metalografi yaitu dengan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) ASTM E986 dan uji kekerasan menggunakan *Micro Vickers Hardnest Test* mengacu pada standar ASTM E384 untuk mengetahui karakteristik zat yang mempengaruhi ketahanan pada baja aisi 410. Adapun prosedur penelitian yang akan dilakukan maka dapat dilihat pada gambar berikut:



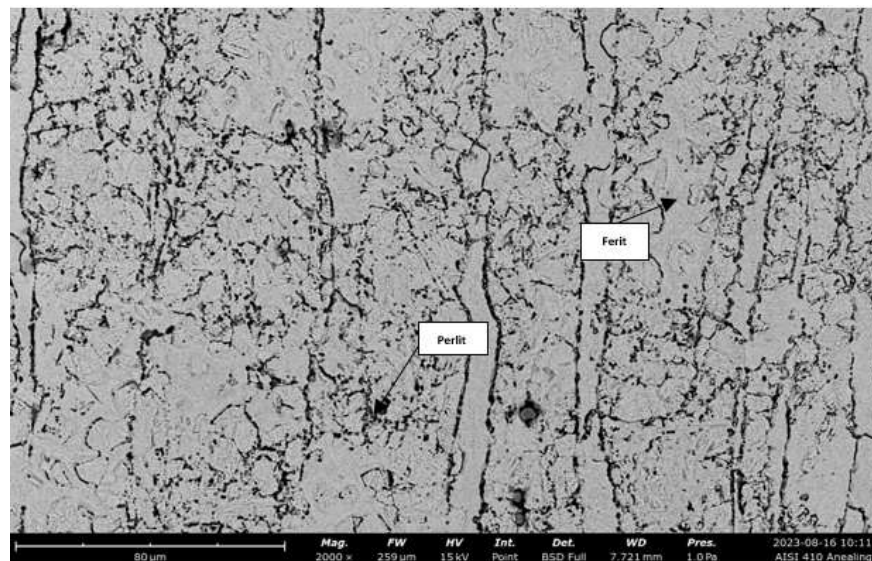
Gambar 1 Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari tahapan penelitian yang meliputi pengujian struktur mikro dengan metode *Scan Electron Microscopy* (SEM) dan uji kekerasan menggunakan *Micro Vickers Hardness Test* mengacu pada standar ASTM E384 sehingga peneliti dapat memberikan kesimpulan dalam riset yang dilakukan ini.

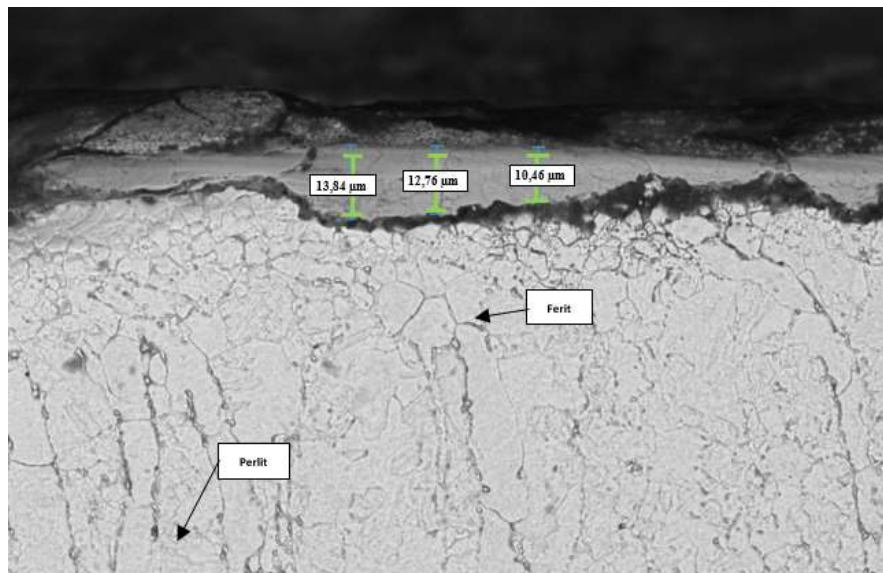
3.1 Hasil Pengujian Metalografi Dengan Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)

Berdasarkan gambar 2 diketahui bahwa struktur mikro pada sampel adalah perlit dan ferit. Fasa perlit adalah struktur mikro untuk baja eutektoid yang didinginkan dengan lambat melalui temperatur eutektoid yang terdiri dari lapisan dua fasa berbeda (α dan Fe_3C) yang terbentuk secara bersamaan selama transformasi. Banyak sedikitnya perlit dipengaruhi karena kandungan karbon. Semakin sedikit kandungan karbon maka sedikit kandungan perlit. Sedangkan fasa ferit mempunyai sifat lunak dan lebih mudah berkarat, fasa ferit yang berbentuk seperti pulau kecil berwarna putih yang tersebar merata hampir diseluruh area. Adanya fasa ferit mengakibatkan menurunnya sifat kekerasan pada baja AISI 410, fasa ferit memiliki sifat memicu nukleasi dan penggabungan microvoid dan dapat menimbulkan fracture pada material yang terekspos temperatur tinggi oleh karena itu fasa ferit sangat dibatasi jumlahnya agar sifat mekanik dari material dapat dikontrol dengan baik



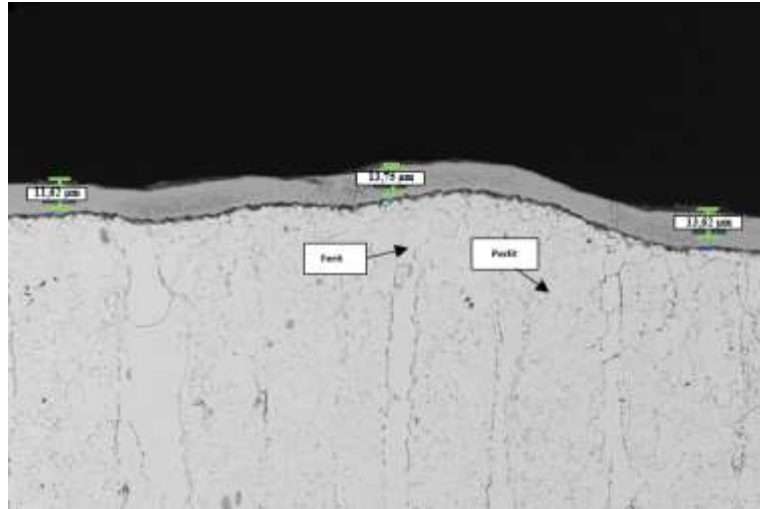
Gambar 2 Baja Tahan Karat AISI 410 Yang Dianil

Berdasarkan gambar 3 diketahui bahwa struktur mikro pada sampel adalah perlit dan ferit. Fasa perlit adalah campuran sementit dan ferit. Banyak sedikitnya perlit dipengaruhi karena kandungan karbon. Semakin sedikit kandungan karbon maka sedikit kandungan perlit. Sedangkan fasa ferit mempunyai sifat lunak dan lebih mudah berkarat terlihat pada setiap ferit titil kecil yang merupakan karat. Pada gambar 3 ketebalan lapisan baja tahan karat AISI 410 dengan variasi tekanan 1,0 mbar diambil 3 titik ketebalan lapisan dengan hasil masing-masing 13,84 μm , 12,76 μm dan 10,46 μm . Dari ketiga titik tersebut diperoleh rata-rata ketebalan lapisan sebesar 37,06 μm .



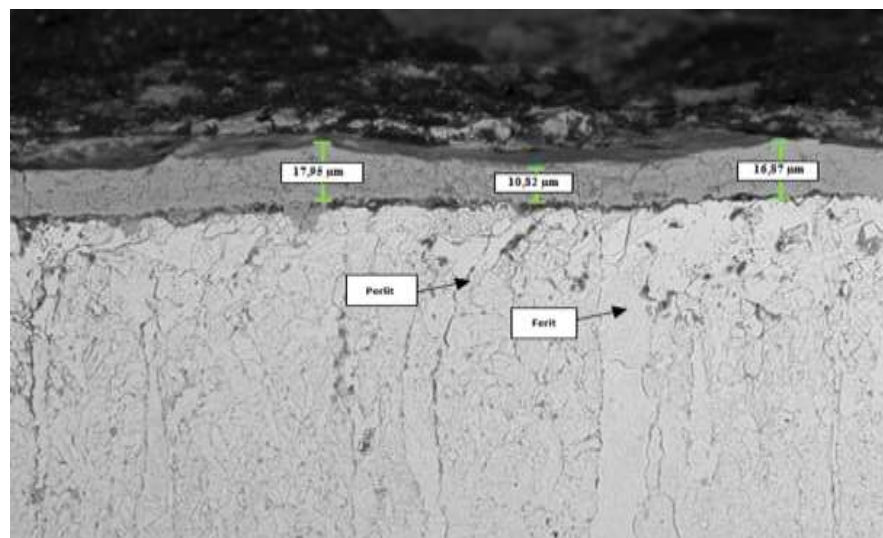
Gambar 3 Ketebalan Lapisan Baja Tahan Karat AISI 410 1,0 mbar

Berdasarkan gambar 4 diketahui bahwa struktur mikro pada sampel adalah perlit dan ferit. Fasa perlit adalah campuran sementit dan ferit. Banyak sedikitnya perlit dipengaruhi karena kandungan karbon. Semakin sedikit kandungan karbon maka sedikit kandungan perlit. Sedangkan fasa ferit mempunyai sifat lunak dan lebih mudah berkarat terlihat pada setiap ferit titil kecil yang merupakan karat. Pada gambar 4 dapat dilihat ketebalan lapisan pada baja tahan karat AISI 410 1,2 mbar mbar diambil 3 titik ketebalan lapisan dengan hasil masing-masing 11,62 μm , 13,75 μm dan 13,62 μm . Dari ketiga titik tersebut diperoleh rata-rata ketebalan lapisan sebesar 38,99 μm .



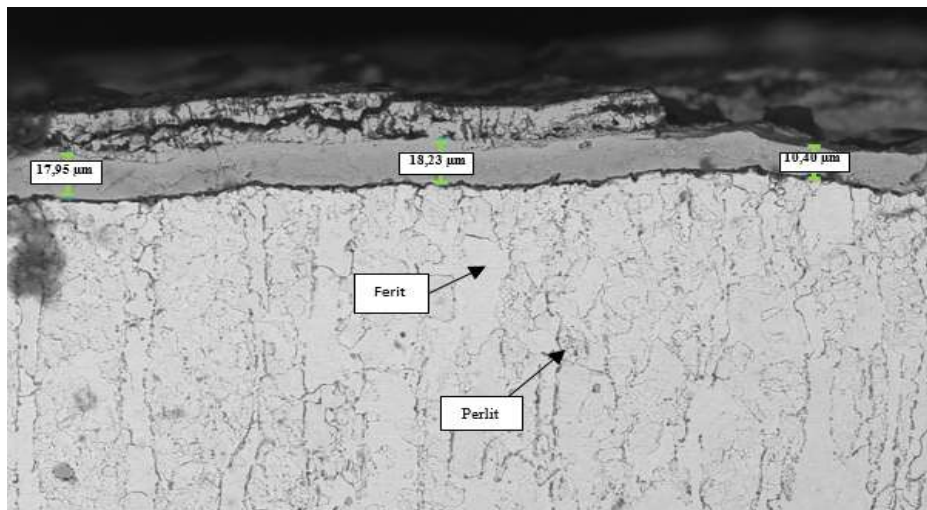
Gambar 4 Ketebalan Lapisan Baja Tahan Karat AISI 410 1,2 mbar

Berdasarkan gambar 5 diketahui bahwa struktur mikro pada sampel adalah perlit dan ferit. Fasa perlit adalah campuran sementit dan ferit. Banyak sedikitnya perlit dipengaruhi karena kandungan karbon. Semakin sedikit kandungan karbon maka sedikit kandungan perlit. Sedangkan fasa ferit mempunyai sifat lunak dan lebih mudah berkarat terlihat pada setiap ferit titik kecil yang merupakan karat. Pada gambar 5 dapat dilihat ketebalan lapisan pada lapisan baja tahan karat AISI 410 1,4 mbar diambil 3 titik ketebalan lapisan dengan hasil masing-masing 17,95 μm , 10,82 μm dan 16,87 μm . Dari ketiga titik tersebut diperoleh rata-rata ketebalan lapisan sebesar 45,64 μm .



Gambar 5 Ketebalan Lapisan Baja Tahan Karat AISI 410 1,4 mbar

Berdasarkan gambar 6 diketahui bahwa struktur mikro pada sampel adalah perlit dan ferit. Fasa perlit adalah campuran sementit dan ferit. Banyak sedikitnya perlit dipengaruhi karena kandungan karbon. Semakin sedikit kandungan karbon maka sedikit kandungan perlit. Sedangkan fasa ferit mempunyai sifat lunak dan lebih mudah berkarat terlihat pada setiap ferit titil kecil yang merupakan karat. Pada gambar 6 dapat dilihat ketebalan lapisan pada lapisan baja tahan karat AISI 410 1,6 mbar diambil 3 titik ketebalan lapisan dengan hasil masing-masing 17,85 μm , 18,23 μm dan 10,40 μm . Dari ketiga titik tersebut diperoleh rata-rata ketebalan lapisan sebesar 46,48 μm .

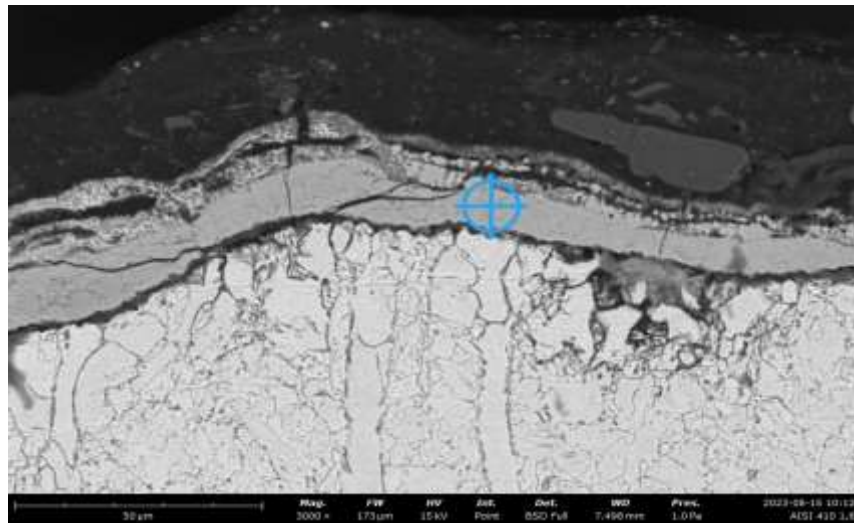


Gambar 6 Ketebalan Lapisan Baja Tahan Karat AISI 410 1,6 mbar

3.2 Hasil Pengujian Metalografi Dengan EDS Pada Baja Tahan Karat AISI 410 Yang Diproses PCVD

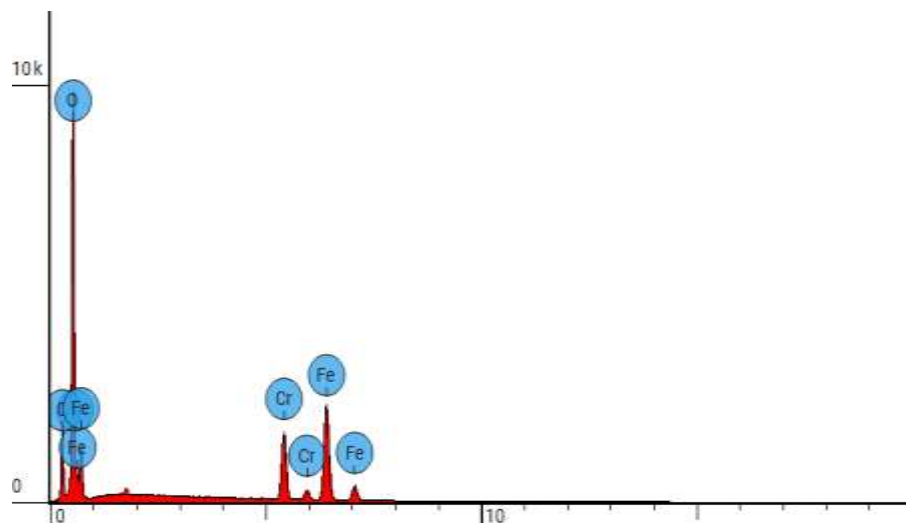
Pengujian Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia fasa baja AISI 410 1,6 mbar. Pada sub bab ini analisa EDS hanya dilakukan pada PCVD 1,6 mbar karena pengujian kekerasan pada proses ini menunjukkan kekerasan paling tinggi.

3.2.1 Hasil Pengujian Metalografi Dengan EDS Pada Lapisan Tipis Baja AISI 410 Yang Diproses PCVD



Gambar 7 EDS Pada Lapisan Tipis Baja AISI 410 PCVD 1,6 Mbar

Pengujian EDS pada lapisan tipis baja AISI 410 (Gambar 7) didapatkan line analysis EDS seperti gambar 8 yang menunjukkan munculnya beberapa unsur penyusun lapisan tipis baja AISI 410. Untuk data prosentase komposisi spektrum lapisan tipis dapat dilihat tabel 4.1. Pada tabel menunjukkan adanya unsur C (*Carbon*) sebesar 12,249% berat, O (*Oxygen*) sebesar 25,301% berat, Cr (*Chromium*) sebesar 17,972% berat, Fe (*Iron*) sebesar 44,478% berat.

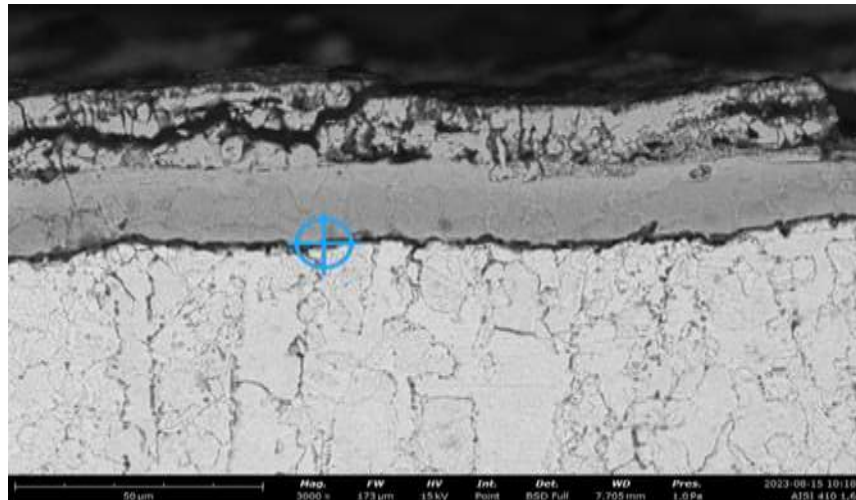


Gambar 8 Line Analysis Lapisan Tipis Baja AISI 410 PCVD 1,6 mbar

Tabel 1 Hasil Line Analysis Lapisan Tipis Baja AISI 410 PCVD 1,6 mbar

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	27.247	12.249
	8	O	Oxygen	42.245	25.301
	24	Cr	Chromium	9.233	17.972
	26	Fe	Iron	21.275	44.478

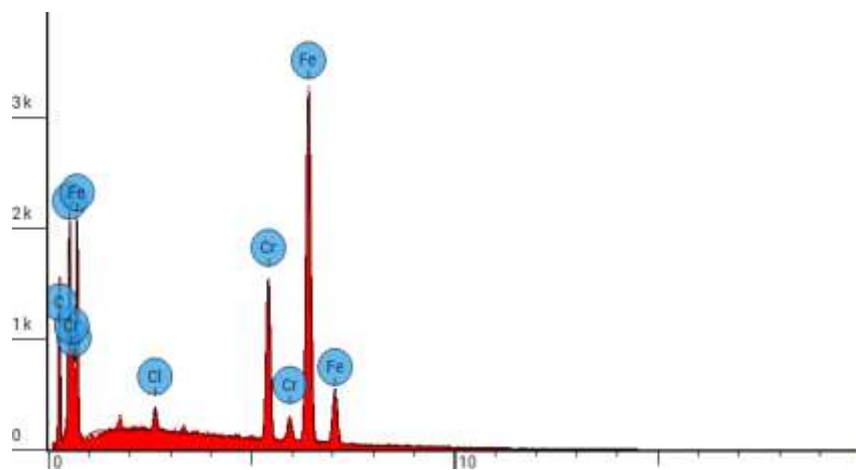
3.2.2 Hasil Pengujian Metalografi Dengan EDS Pada Batas Antara Lapisan Tipis Dan Substrat



Gambar 9 EDS Pada Batas Antara Lapisan Tipis Dan Substrat

Pengujian EDS pada batas antara lapisan tipis dan substrat baja AISI 410 (Gambar 9) didapatkan line analysis EDS seperti gambar 10 yang menunjukkan munculnya beberapa unsur penyusun batas antara lapisan tipis dan substrat. Untuk data prosentase komposisi spektrum batas antara lapisan tipis dan substrat dapat dilihat tabel 4.2. Pada tabel menunjukkan adanya unsur C (*Carbon*) sebesar 52,314% berat, O (*Oxygen*) sebesar 19,014% berat, Na (*Sodium*) sebesar 1,710% berat, Al (*Aluminium*) sebesar 0,604% berat, Cl (*Chlorine*) sebesar 1,408% berat, K (*Potassium*) sebesar 0,905% berat, Ti (*Titanium*) sebesar 1,207% berat, Cr (*Chromium*) sebesar 5,835% berat, Fe (*iron*) sebesar 17,002% berat.

Pengujian EDS pada substrat fasa perlit (Gambar 11) didapatkan line analysis EDS seperti gambar 12 yang menunjukkan munculnya beberapa unsur penyusun substrat fasa perlit. Untuk data prosentase komposisi spektrum substrat fasa perlit dapat dilihat tabel 4 menunjukkan adanya unsur C (*Carbon*) sebesar 13,287% berat, O (*Oxygen*) sebesar 5,195% berat, Cl (*Chlorine*) sebesar 0,999% berat, Cr (*Chromium*) sebesar 17,183% berat, Fe (*Iron*) sebesar 63,337% berat. Kandungan Carbon sebesar 13,287% menunjukkan adanya Fasa Sementit yang bercampur dengan Ferit membentuk Perlit.

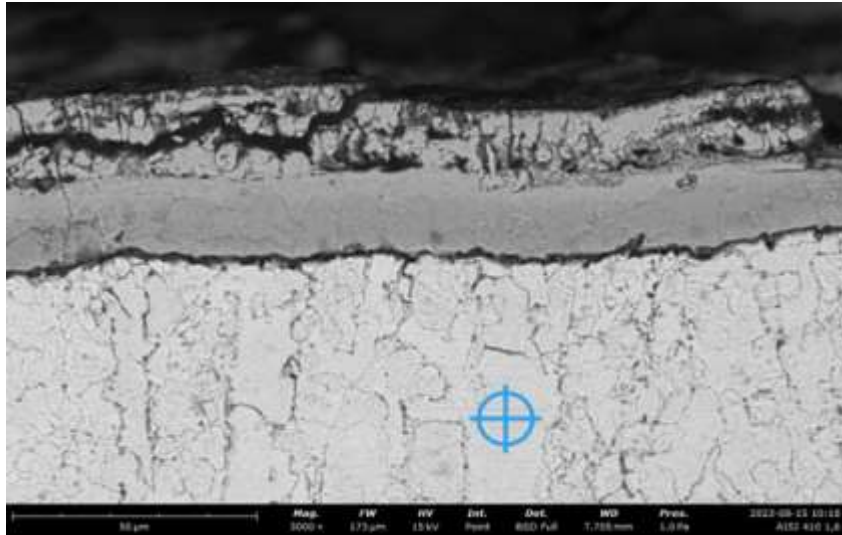


Gambar 12 Line Analysis Pada Substrat Fasa Perlit

Tabel 3 Hasil Line Analysis Pada Substrat Fasa Perlit

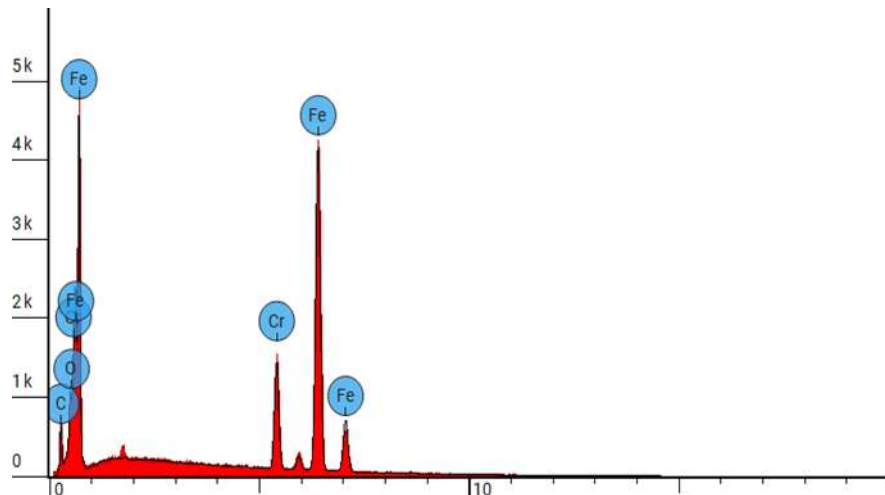
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	37.840	13.287
	8	O	Oxygen	11.105	5.195
	17	Cl	Chlorine	0.964	0.999
	24	Cr	Chromium	11.302	17.183
	26	Fe	Iron	38.789	63.337

B) Substrat Fasa Ferit



Gambar 13 EDS Pada Substrat Fasa Ferit

Pengujian EDS pada substrat fasa Ferit (Gambar 13) didapatkan line analysis EDS seperti gambar 14 yang menunjukkan munculnya beberapa unsur penyusun substrat fasa ferit. Untuk data prosentase komposisi spektrum substrat fasa ferit dapat dilihat tabel 5. Pada tabel menunjukkan adanya unsur C (*Carbon*) sebesar 4,112% berat, O (*Oxygen*) sebesar 0,000% berat, Cr (*Chromium*) sebesar 15,647% berat, Fe (*Iron*) sebesar 80,241% berat. Kandungan Carbon lebih kecil dari perlit karena tidak ada fasa sementit.

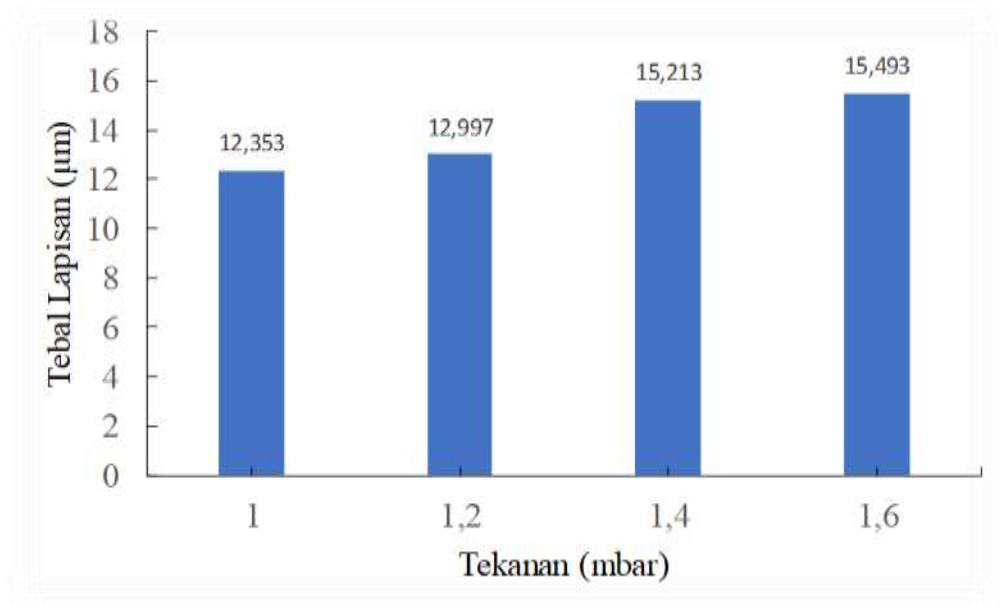


Gambar 14 Line Analysis Pada Substrat Fasa Ferit

Tabel 4 Hasil Line Analysis Pada Substrat Fasa Ferit

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	16.462	4.112
	8	O	Oxygen	0.000	0.000
	24	Cr	Chromium	14.466	15.647
	26	Fe	Iron	69.072	80.241

3.2.4 Perbandingan Ketebalan Lapisan Diamond Like Carbon Dengan Variasi Tekanan 1,0 mbar, 1,2 mbar, 1,4 mbar dan 1,6 mbar



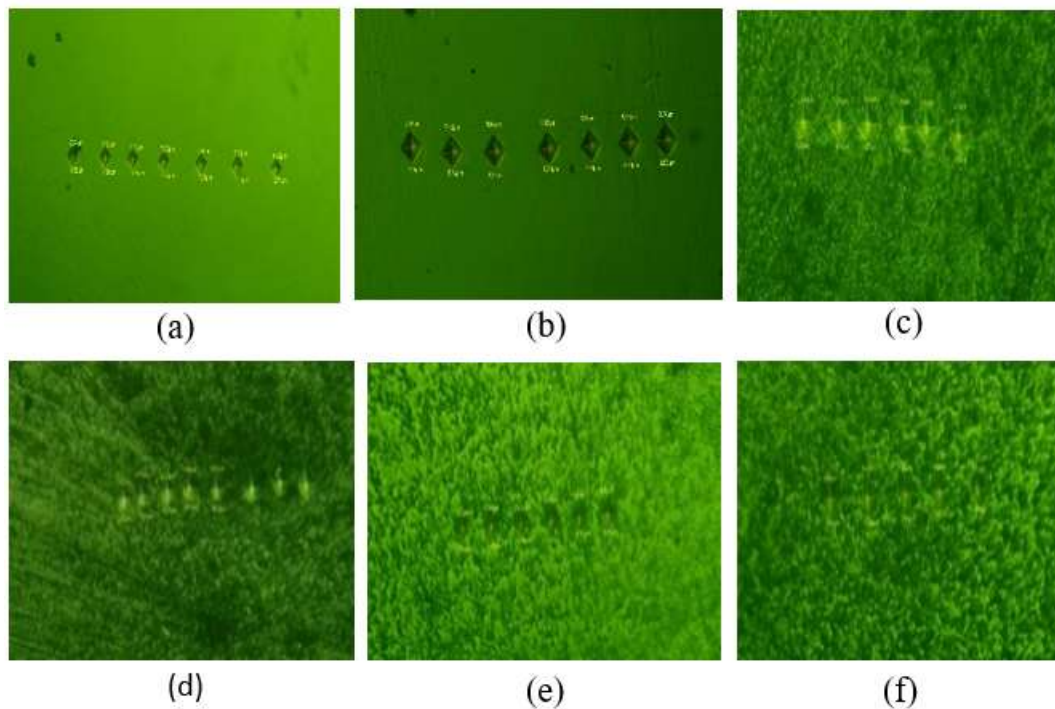
Gambar 15 Hasil Perbandingan Ketebalan Pada Lapisan

Berdasarkan Gambar 15 ketebalan lapisan DLC dengan variasi tekanan 1,0 mbar mendapatkan ketebalan lapisan rata-rata sebesar 12,353 µm, pada tekanan 1,2 mbar sebesar 12,997 µm, tekanan 1,4 mbar sebesar 15,213 µm dan tekanan 1,6 mbar sebesar 15,493 µm hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi tekanan maka ketebalan lapisan semakin meningkat.

3.3 Pengujian Kekerasan Mikro Dan Makro Vickers

Pengujian kekerasan Vickers bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada suatu material. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan makro Vickers pada dua jenis sampel yaitu RAW Material baja AISI 410 dan RAW Anil. Kemudian dilakukan pengujian kekerasan mikro Vickers pada empat jenis sampel antara lain DLC ANIL 1 mbar, DLC ANIL 1,2 mbar, DLC ANIL 1,4 mbar, DLC ANIL 1,6 mbar.

Pengujian kekerasan makro Vickers menggunakan alat *Wolpert* milik UGM Yogyakarta sedangkan pengujian mikro Vickers menggunakan alat *Matsuzawa digital Micro Hardness Tester MMT-X7* milik PRITA-BRIN Yogyakarta. Pengujian kekerasan permukaan menggunakan *Microindentation* pada masing-masing sampel sebanyak 3 titik dengan beban yang digunakan sebesar 30 kgf dan 10 gf serta waktu indentasi selama 10 detik. Gambar penampang hasil pengujian kekerasan mikro vickers dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16 Penampang hasil pengujian kekerasan mikro Vickers pada sampel (a) Raw Material, (b) Anil, (c) DLC ANIL 1 mbar, (d) DLC ANIL 1,2 mbar, (e) DLC ANIL 1,4 mbar, (f) DLC ANIL 1,6 mbar.

Tabel 4 Data Hasil Pengujian Kekerasan Makro dan Mikro Vickers

No.	Sampel	Titik Uji	d 1 (mm)	d 2 (mm)	Beban (kgf)	Kekerasan Pada Titik Uji (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
1	RAW Material	1	0,45	0,45	30	274,7	274,7
		2	0,45	0,45	30	274,7	
		3	0,45	0,45	30	274,7	
2	ANIL	1	0,48	0,48	30	241,5	241,5
		2	0,48	0,48	30	241,5	
		3	0,48	0,48	30	241,5	
3	DLC ANIL 1 mbar	1	0,00682	0,00708	0,01	306,34	299,30
		2	0,00691	0,00683	0,01	313,52	
		3	0,00734	0,00725	0,01	278,05	
4	DLC ANIL 1,2 mbar	1	0,00632	0,00718	0,01	324,76	322,14
		2	0,00640	0,00642	0,01	360,13	
		3	0,00708	0,00742	0,01	281,51	
5	DLC ANIL 1,4 mbar	1	0,00673	0,00594	0,01	368,71	373,04
		2	0,00594	0,00657	0,01	378,20	
		3	0,00632	0,00629	0,01	372,22	
6	DLC ANIL 1,6 mbar	1	0,00517	0,00505	0,01	566,68	575,68
		2	0,00496	0,00497	0,01	600,26	
		3	0,00517	0,00511	0,01	560,08	

Dari data hasil pengujian kekerasan makro dan mikro Vickers yang diperoleh pada tabel 5 terdapat peningkatan nilai kekerasan pada permukaan material setelah diberi lapisan *Diamond Like Carbon* (DLC). Pada sampel RAW Material memiliki kekerasan Vickers sebesar 274,7 VHN sedangkan pada sampel Anil memiliki kekerasan Vickers sebesar 241,5 VHN kemudian setelah diberi lapisan DLC tekanan 1 mbar menghasilkan kekerasan Vickers sebesar 299,30 VHN. Kemudian pada sampel ANIL DLC dengan tekanan sebesar 1,2 mbar menghasilkan kekerasan Vickers sebesar 322,14 VHN. Kemudian pada sampel ANIL DLC dengan tekanan sebesar 1,4 mbar menghasilkan kekerasan Vickers sebesar 373,04 VHN. Kemudian pada sampel ANIL DLC dengan tekanan sebesar 1,6 mbar menghasilkan kekerasan Vickers sebesar 575,68 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 pada sampel RAW Anil lebih rendah dibandingkan dengan sampel RAW Material. Pada material yang telah dilakukan proses *annealing* akan berubah sifat mekanis dan struktur mikro yang terkandung di dalam material tersebut. Fasa martensit yang keras akan bertransformasi menjadi fasa ferit dan perlit yang lebih lunak.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, analisis data dan pembahasan tentang pengaruh proses tekanan terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan *Diamond like carbon* hasil proses *Plasma Chemical Vapour Deposition* (PCVD) pada baja AISI 410 maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian metalografi dengan Scanning Electron Microscope (SEM) diketahui bahwa pada sampel variasi tekanan 1,0 mbar memiliki ketebalan sebesar 12,353 μm , pada sampel variasi tekanan 1,2 mbar memiliki ketebalan sebesar 12,997 μm , pada sampel variasi tekanan 1,4 mbar memiliki ketebalan sebesar 15,213 μm , pada sampel variasi tekanan 1,6 mbar memiliki ketebalan sebesar 15,493 μm yang artinya setiap pertambahan tekanan mengalami kenaikan ketebalan lapisan Diamond Like Carbon semakin tinggi tekanan semakin tebal lapisan.

2. Hasil pengujian vickers, dapat diketahui bahwa nilai kekerasan tertinggi didapat pada sampel variasi tekanan 1,6 mbar memiliki nilai kekerasan vickers dengan rata-rata sebesar 575,68 VHN. Sedangkan nilai kekerasan terendah didapat pada sampel baja AISI 410 yang diannealing memiliki nilai kekerasan vickers rata-rata sebesar 241,5 VHN. Pada rentang tekanan yang diuji semakin besar tekanan semakin tinggi kekerasan.

4.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian ini, maka mendapatkan beberapa saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, antara lain:

1. Perlu dilakukan pengujian keausan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap proses PVCD.
2. Perlu dilakukan pengujian ketangguhan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap proses PVCD.

PERSANTUNAN

Selama penyusunan penelitian tugas akhir ini, penulis mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik langsung maupun tidak langsung. Maka dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak bapak Ir. Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T., IPM. selaku dosen pembimbing dan keluarga serta rekan-rekan semua yang sudah membantu dan mendukung penuh hingga selesai. Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk diaplikasikan secara nyata dan digunakan sebagai tinjauan pustaka.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinoyi, M. j., Merah, N., & Albinmousa, J. (2019). Strain-controlled fatigue and fracture of AISI stainless steel. *Engineering Failure Analysis*, 1-11.
- Al, Hujjaz., M, M., & Darmawan, A. S. (2022). Pengaruh Proses Annealing Terhadap Lapisan Diamond Like Carbon Hasil Proses Plasma Chemical Vapour Deposition Pada Baja AISI 410 . *Tugas Akhir*, 7-9.
- Darmawan , A. S. (2020). Ilmu Bahan Teknik . *Surakarta: Muhammadiyah University Press*.
- Darmawan , A. S., & Masyrukan. (2019). Struktur Dan Sifat Material. *Surakarta: Muhammadiyah University Press*.

- Iwamoto, Y., Takenami, K., Takamura, R., Inoue, M., Hirara, Y., Akasaka, H., & Ohtake, N. (2019). Preparation Of DLC Films On Inner Surface Of Metal Tubes By Nanopulse Plasma CVD. *Surface & Coating Technology*, 2-7.
- Kovaci, H., Bozkurt, Y. B., Yetim, A. F., Baran, O., & Celik, A. (2020). Corrosion and Tribocorrosion Properties Of Duplex surface Treatments Consiting Of Plasma Nitriding and DLC Coating . *Jurnal Pre-proof*, 3-35.
- 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. *Tugas akhir*, 2-6.
- Robertson , J. (2002). Diamond Like Amorphous Carbon . *Material Science and Engineering*, 131-135.
- Septaricov, D. A., & Darmawan, A. S. (2019). Pengaruh Plasma nitrokarburasi Terhadap Terbentuknya Senyawa, Kekerasan dan Keausan Pada Permukaan Titanium Murni Komersial . *Tugas Akhir*, 10-39.
- Sujatno , A., Salam , R., Bandriyana, & Dimyanti, A. (2015). Studi Scanning Electron Microscopy (SEM). *jurnal Forum Nuklir*, 44-49.
- Suprpto, Jamal, N., & Wahyu , A. (2017). Pengaruh Post-Treatment Plasma CVD Lapisan Diamond Like Carbon Terhadap Sifat Kekerasan Permukaan Baja AISI 410. *Tugas Akhir* , 63-65.