

PENGARUH TEKANAN TERHADAP KETEBALAN DAN KETAHANAN KOROSI LAPISAN *DIAMOND LIKE CARBON* PADA BAJA AISI 410 YANG DIANIL

Bustomi Muhammad Yazid; Agung setyo Darmawan

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Pengaruh tekanan terhadap ketebalan lapisan DLC metode PCVD pada baja AISI 410 yang dianil dan untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap ketahanan korosi DLC metode PCVD pada baja AISI 410 yang dianil. Pada penelitian ini, material yang digunakan yaitu baja AISI 41- 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 korosi metode elektrokimia dengan potensiostat mengacu pada standart ASTM G102. 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 korosi didapatkan laju korosi pada tekanan 1,0 mbar sebesar 7,87E-05 mmpy, 1,2 mbar sebesar 1,66E-05 mmpy, 1,4 mbar sebesar 1,22E-05 mmpy dan 1,6 mbar sebesar 5,14E-06 mmpy. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan maka laju korosi semakin rendah.

Kata kunci: Baja AISI 410, *Annealing*, PCVD, SEM-EDS, Korosi

Abstrack

The effect of pressure on the thickness of the PCVD method DLC layer on annealed AISI 410 steel and to determine the effect of pressure on the corrosion resistance of the PCVD method DLC on annealed AISI 410 steel. In this research, the material used, namely AISI 41 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 electrochemical method corrosion testing with a potentiostat referring to the ASTM G102 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 results of corrosion testing, it was found that the corrosion rate at a pressure of 1.0 mbar was 7.87E-05 mmpy, 1.2 mbar was 1.66E-05 mmpy, 1.4 mbar was 1.22E-05 mmpy and 1.6 mbar was 5.14E-06 mmpy. From these results it can be concluded that the higher the pressure, the lower the corrosion rate.

Keywords: AISI 410 Steel, *Annealing*, PCVD, SEM-EDS, Corrosion

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*) dibutuhkan buat menghasilkan sifat mekanik yang efisien dalam menghindari terbentuknya deformasi plastis yang besar. Perlakuan panas semacam annealing bisa meningkatkan kelunakan, keliatan, ketangguhan, serta menciptakan struktur mikro tertentu (Darmawan dan Masyrukan, 2019).

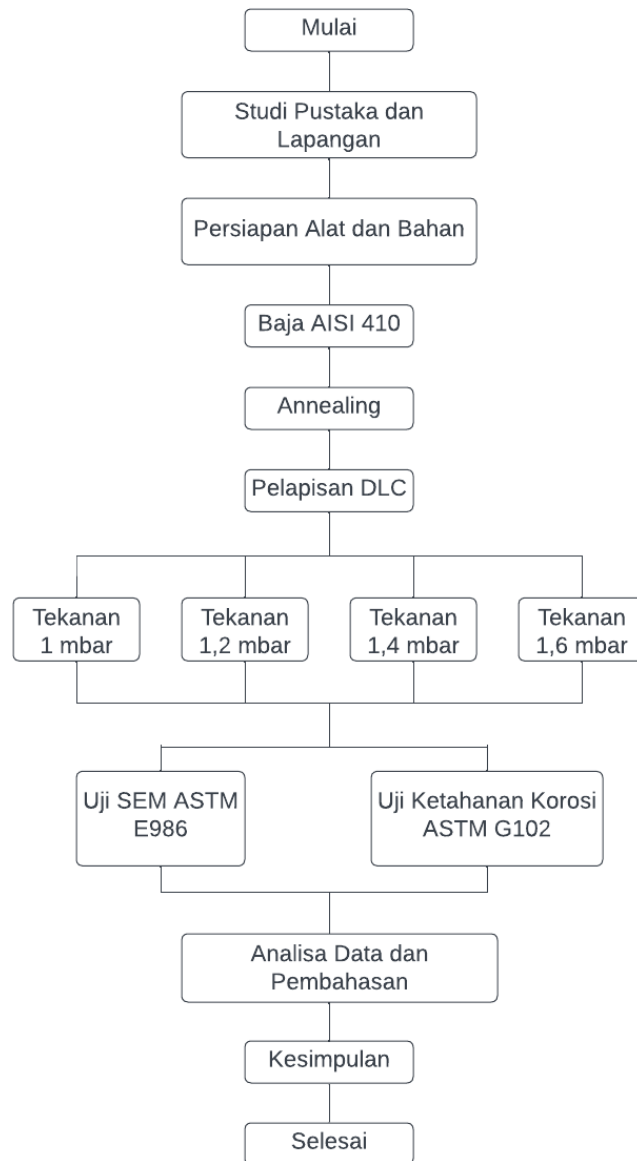
Selain perlakuan panas, perlakuan pada material seperti perlakuan permukaan (*surface treatment*) berupa lapisan diperlukan untuk meningkatkan sifat permukaan material karena kegagalan seperti kelelahan, keausan, dan korosi yang berasal langsung dari permukaan material. Salah satu cara dalam pembentukan lapisan pada permukaan material adalah Diamond Like Carbon (DLC). Metode ini menghasilkan sifat material yang baik seperti kekerasan tinggi, koefisien gesek rendah, serta meningkatkan daya tahan aus dan korosi di bawah kondisi kerja yang ekstrem (Kovaci 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 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 penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses *annealing* pada lapisan DLC yang dibentuk dengan metode PCVD terhadap ketahanan korosi.

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen yang bertujuan mengetahui sebab – akibat. Penelitian ini dilakukan mengetahui pengaruh tekanan terhadap ketebalan dan ketahanan korosi 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 ketahanan korosi dengan ASTM G102 untuk mengetahui karakteristik zat yang mempengaruhi ketahanan pada baja aisi 410. Adapun prosedur penelitian yang akan dilakukan maka dapat dilihat pada gambar berikut:



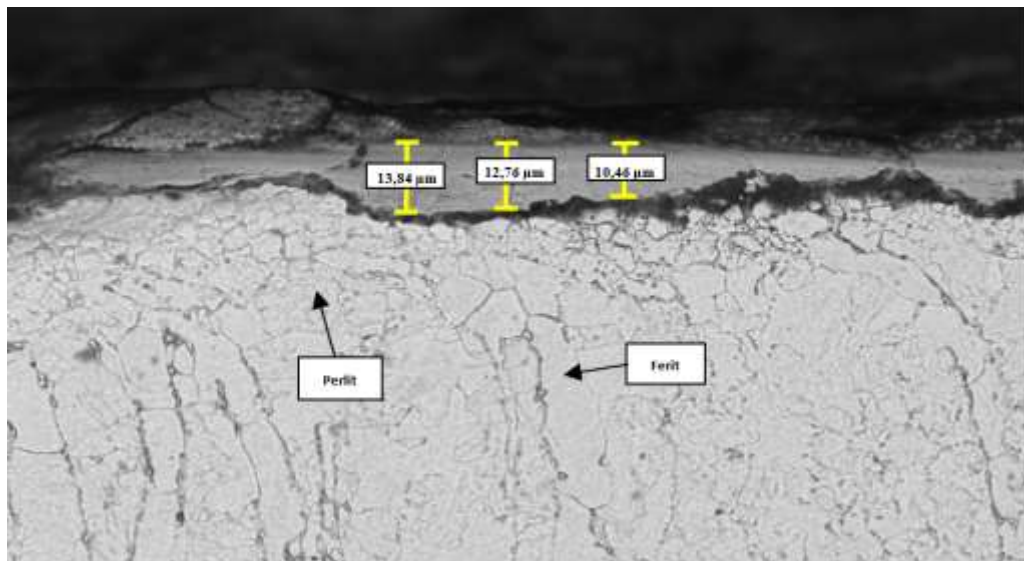
Gambar 1 Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah spesimen di lakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) ASTM E986 dan uji ketahanan korosi dengan ASTM G102 diperoleh data hasil pengujian sebagai berikut.

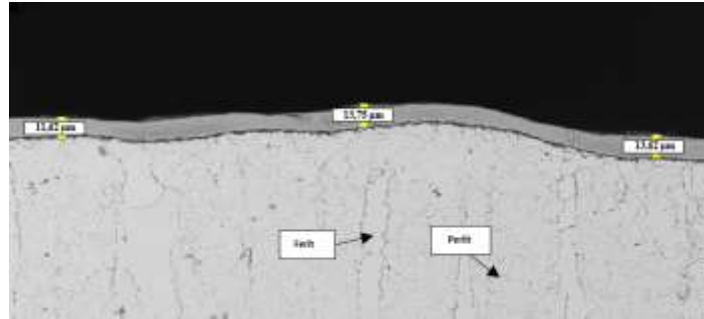
3.1 Hasil Pengujian Metalografi Dengan Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dan komposisi kimia fasa pada baja AISI 410 sesudah dilapisi Diamond Like Carbon (DLC). Data hasil pengujian pada spesimen dengan variasi PVCD sebesar 1.0 mbar, 1.2 mbar, 1.4 mbar, dan 1.6 mbar. Berikut merupakan data hasil pengujian SEM.



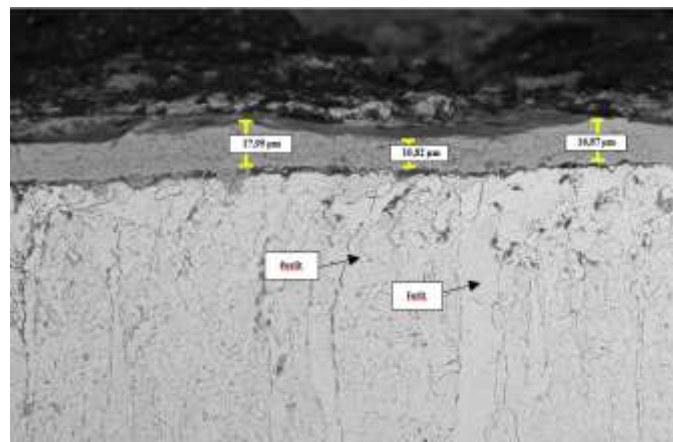
Gambar 2 Ketebalan Lapisan Baja Tahan Karat AISI 410 1,0 mbar

Berdasarkan gambar 2 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 2 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 1,2 mbar

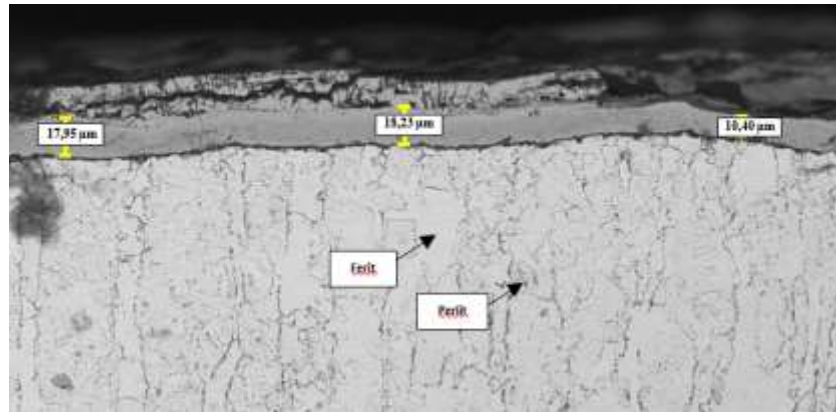
Berdasarkan gambar 3 diketahui bahwa struktur mikro pada sampel adalah perlit dan ferit. Fasa perlit adalah campuran sementit dan ferit. Banyak sedikitnya perlit dipengaruhi karena kandungan karbon. Semakin sedikit kandungan karbon maka sedikit kandungan perlit. Sedangkan fasa ferit mempunyai sifat lunak dan lebih mudah berkarat terlihat pada setiap ferit titil kecil yang merupakan karat. Pada gambar 3 dapat dilihat ketebalan lapisan pada baja tahan karat AISI 410 1,2 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 1,4 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 lapisan baja tahan karat AISI 410 1,4 mbar 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 .

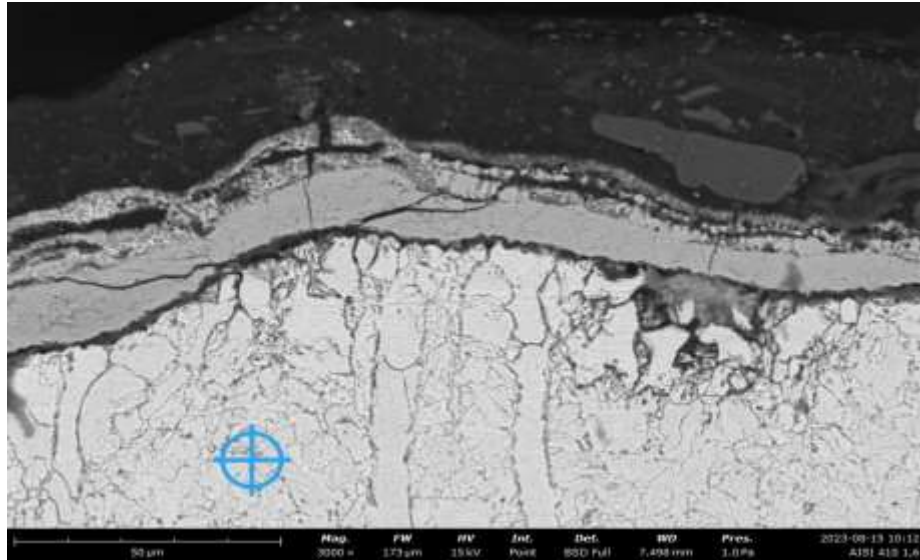


Gambar 5 Ketebalan Lapisan Baja Tahan Karat AISI 410 1,6 mbar

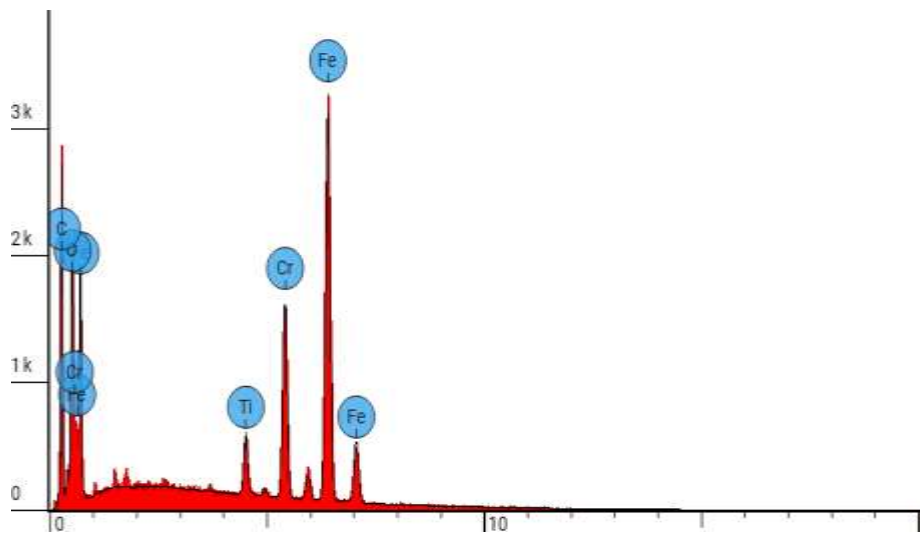
Berdasarkan gambar 5 diketahui bahwa struktur mikro pada sampel adalah perlit dan ferit. Fasa perlit adalah campuran sementit dan ferit. Banyak sedikitnya perlit dipengaruhi karena kandungan karbon. Semakin sedikit kandungan karbon maka sedikit kandungan perlit. Sedangkan fasa ferit mempunyai sifat lunak 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 1,6 mbar 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 .

3.2 Hasil Pengujian Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

Pengujian EDX 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 (Putro, 2023).



Gambar 6 EDS pada baja AISI 410 PCVD 1,6 mbar



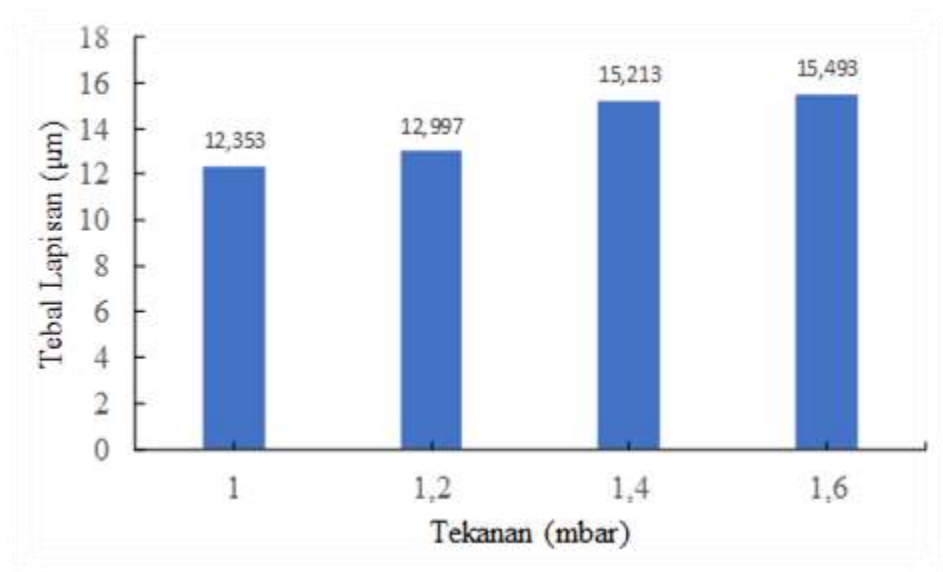
Gambar 7 Line analysis Lapisan Baja AISI 410 PCVD 1,6 mbar

Pada pengujian EDS pada baja AISI 410 didapatkan line analysis EDS seperti pada gambar 7 yang menunjukkan munculnya beberapa unsur penyusun lapisan baja AISI 410. Untuk data prosentase komposisi spektrum lapisan perbatasan DLC dapat dilihat tabel 1. Pada tabel menunjukkan adanya unsur C (*Carbon*) sebesar 19,300% berat, O (*Oxygen*) sebesar 5,600% berat, Ti (*Titanium*) sebesar 3,100% berat, Cr (*Chromium*) sebesar 16,400% berat, Fe (*Iron*) sebesar 55,600% berat. Kandungan besi pada lapisan baja AISI 410 lebih dari 50% yang artinya unsur utama pada baja AISI 410 adalah besi.

Tabel 1 Line analysis Lapisan Baja AISI 410 PCVD 1,6 mbar

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	48.220	19.300
	8	O	Oxygen	10.502	5.600
	22	Ti	Titanium	1.942	3.100
	24	Cr	Chromium	9.464	16.400
	26	Fe	Iron	29.872	55.600

Berdasarkan Gambar 8 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.



Gambar 8 Hasil Perbandingan Ketebalan Pada Lapisan Diamond Like Carbon

3.3 Hasil Pengujian Bending

Pada pengujian ini dilakukan proses pengujian korosi menggunakan metode elektrokimia dengan potensiostat. Penelitian tersebut dilakukan pada laboratorium korosi dan kegagalan material Institut Sepuluh November. Pengujian korosi dilakukan untuk mengetahui ketahanan korosi pada baja AISI 410.

A. Nilai laju korosi baja AISI 410 dengan proses *annealing* dan proses pelapisan DLC dengan tekanan 1,0 mbar.

Berdasarkan hasil pengujian korosi terhadap spesimen baja AISI 410 dengan proses *annealing* dan proses pelapisan DLC dengan tekanan 1,0 mbar didapatkan hasil grafik seperti pada Gambar 4.8. Kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai I_{corr} sebesar $7,1817E-06$ A/cm². Laju korosi pada baja AISI 410 dengan proses *annealing* dan pelapisan DLC dengan tekanan 1,0 mbar yang memiliki massa 5,96 g dengan diameter 14 mm dan tinggi 5 mm maka dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$CR = K_1 \times \frac{i_{corr}}{\rho} \times EW$$

$$CR = K_1 \times \frac{i_{corr}}{\frac{m}{V}} \times EW$$

$$CR = K_1 \times \frac{i_{corr}}{\frac{m}{\pi r^2 t}} \times EW$$

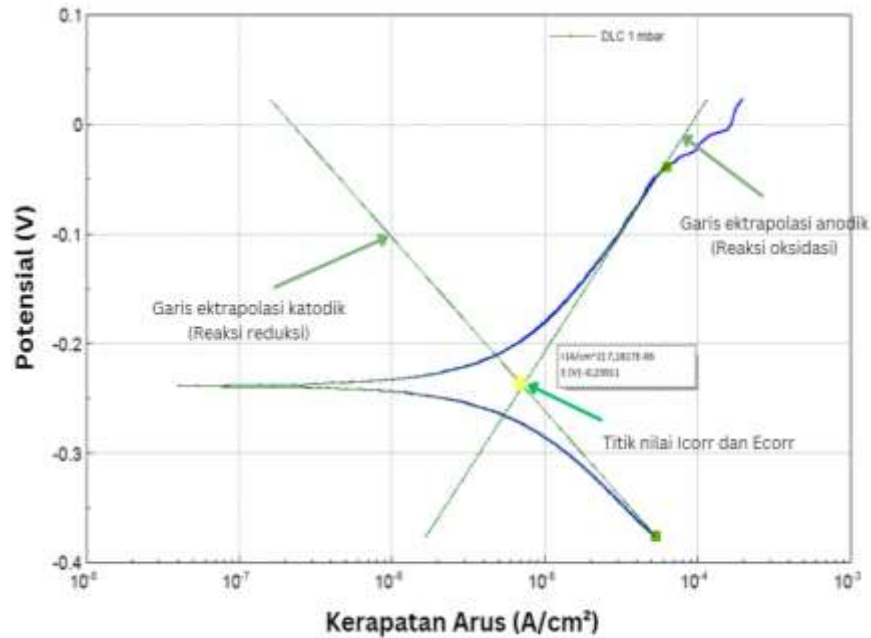
$$CR = 3,27 \times 10^{-3} \times \frac{7,1817E - 06}{0,00596} \times 25,94$$

$$\frac{22}{7} \times 0,7 \times 0,7 \times 0,5$$

$$CR = 0,00327 \times \frac{7,1817E - 06}{0,00774026} \times 25,94$$

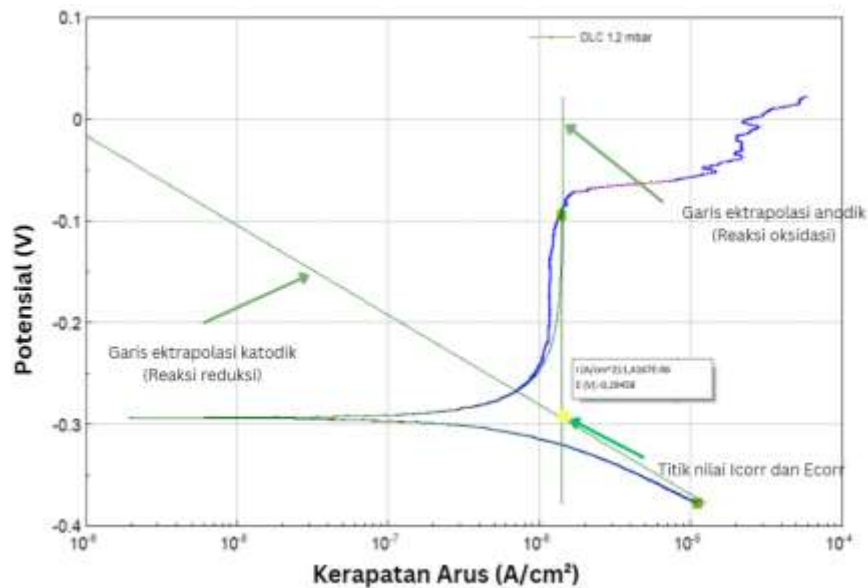
$$CR = 0,00327 \times 0,000927837 \times 25,94$$

$$CR = 7,8703E - 05 \text{ mmpy}$$



Gambar 9 Kurva Polarisasi Pada Baja AISI 410 Dengan Proses Annealing dan Proses Pelapisan DLC Dengan Tekanan 1,0 Mbar

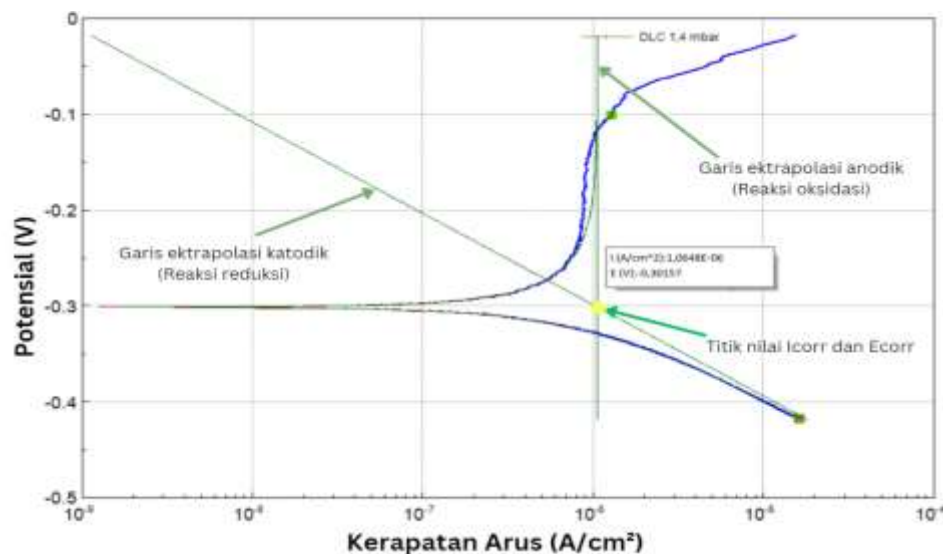
B. Nilai laju korosi baja AISI 410 dengan proses *annealing* dan proses pelapisan DLC dengan tekanan 1,2 mbar.



Gambar 10 Kurva Polarisasi Pada Baja AISI 410 Dengan Proses Annealing dan Proses Pelapisan DLC Dengan Tekanan 1,2 Mbar

Berdasarkan hasil pengujian korosi terhadap spesimen baja AISI 410 dengan proses *annealing* dan proses pelapisan DLC dengan tekanan 1,2 mbar didapatkan hasil grafik seperti pada Gambar 4.9. Kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai I_{corr} sebesar $1,4167\text{E-}06 \text{ A/cm}^2$ yang memiliki massa benda 5,57 g dengan diameter 14 mm dan tinggi benda 5 mm. Maka didapatkan nilai laju korosinya sebesar $1,6612\text{E-}05$, mmpy.

C. Nilai laju korosi baja AISI 410 dengan proses *annealing* dan proses pelapisan DLC dengan tekanan 1,4 mbar.

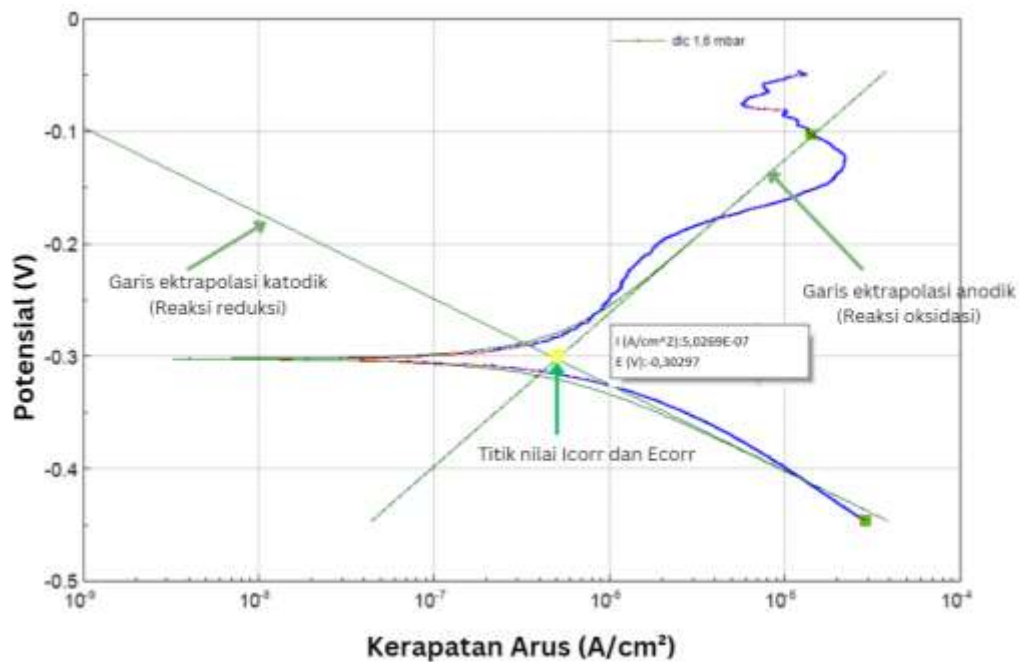


Gambar 11 Kurva Polarisasi Pada Baja AISI 410 Dengan Proses Annealing dan Proses Pelapisan DLC Dengan Tekanan 1,4 Mbar

Berdasarkan hasil pengujian korosi terhadap spesimen baja AISI 410 dengan proses *annealing* dan proses pelapisan DLC dengan tekanan 1,4 mbar didapatkan hasil grafik seperti pada Gambar 4.10. Kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai I_{corr} sebesar $1,0648\text{E-}06 \text{ A/cm}^2$ yang memiliki massa benda 5,72 g dengan diameter 14 mm dan tinggi 5 mm. Maka didapatkan laju korosinya sebesar $1,2159\text{E-}05$ mmpy.

D. Nilai laju korosi baja AISI 410 dengan proses *annealing* dan proses pelapisan DLC dengan tekanan 1,6 mbar.

Berdasarkan hasil pengujian korosi terhadap spesimen baja AISI 410 dengan proses *annealing* dan proses pelapisan DLC dengan tekanan 1,6 mbar didapatkan hasil grafik seperti pada Gambar 4.11. Kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai I_{corr} sebesar $5,0269E-07$ A/cm² yang mempunyai massa benda 6,39 g dengan diameter 14 mm dan tinggi 5 mm. Maka didapatkan laju korosinya sebesar $5,13816E-06$ mmpy.



Gambar 12 Kurva Polarisasi Pada Baja AISI 410 Dengan Proses Annealing dan Proses Pelapisan DLC Dengan Tekanan 1,6 Mbar

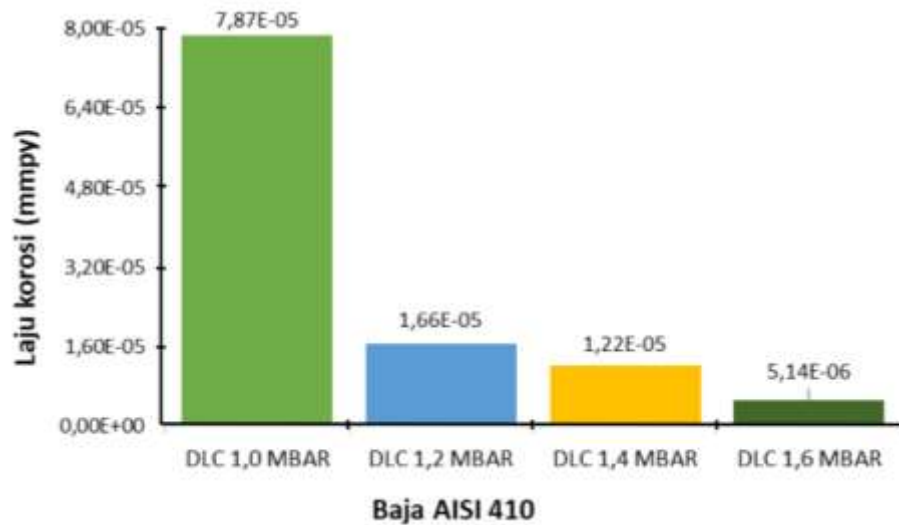
3.4 Pengaruh Tekanan pada Proses Pelapisan DLC Terhadap Laju Korosi Baja AISI 410 Yang Dianil

Berdasarkan pengujian korosi ini dapat disimpulkan dari kurva polarisasi keempat spesimen, maka didapatkan perbandingan laju korosi yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.11 yang merupakan perbandingan laju korosi pada variasi tekanan sebesar 1,0 mbar, 1,2 mbar, 1,4 mbar dan 1,6 mbar.

Tabel 1 Hasil pengujian Laju Korosi

Tekanan Proses Pelapisan DLC	I corr (μA/cm ²)	Laju Korosi (mm/year)
1,0	7,18E-06	7,87E-05

1,2	1,42E-06	1,66E-05
1,4	1,06E-06	1,22E-05
1,6	5,03E-07	5,14E-06



Gambar 13 Perbandingan Laju Korosi pada Variasi Tekanan Proses DLC 1,0 Mbar, 1,2 Mbar, 1,4 Mbar dan 1,6 Mbar.

Berdasarkan data hasil pengujian laju korosi terhadap material baja AISI yang mengalami proses *annealing* dan proses DLC dengan variasi tekanan 1,0 mbar, 1,2 mbar, 1,4 mbar dan 1,6 mbar dapat diketahui adanya perbedaan besaran nilai (I_{corr}) dan laju korosi (mm/yr) pada setiap spesimen yang dilakukan pengujian. Dimana pada tekanan 1,0 mbar menunjukkan laju korosi yang lebih besar dibandingkan pada tekanan 1,2 mbar, 1,4 mbar karena pada pelapisan DLC terbentuk dari proses plasma berupa proses penguraian gas hidrokarbon dan proses ionisasi, semakin tebal lapisan ini akan menghalangi interaksi antara lingkungan dan material. Pada proses penguraian hidrokarbon terjadi peristiwa disosiasi yaitu pemisahan molekul gas hidrokarbon menjadi atom-atom penyusunnya akibat tumbukan elektron-elektron bebas dengan partikel-partikel gas. Sedangkan pada proses ionisasi, ion karbon dan hydrogen yang terbentuk 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 hydrogen membentuk senyawa

baru yang kemudian akan terdeposisi ke permukaan spesimen membentuk lapisan. Sebagian atom-atom karbon akan berdifusi ke bagian yang lebih dalam membentuk larutan padat (Suprpto, 2018). Oleh karena itu pada tekanan 1,6 mbar mendapatkan laju korosi sebesar 0,00000513816 mmpy.

4. PENUTUP

4.1 KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pengujian Scanning Electron Microscope Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS) dan laju korosi terhadap material baja AISI 410 dengan proses annealing dan proses PCVD dengan variasi tekanan 1,0 mbar, 1,2 mbar, 1,4 mbar dan 1,6 mbar maka dapat disimpulkan:

1. Dari data hasil pengujian SEM-EDS material baja tahan karat AISI 410 dengan variasi tekanan 1,0 mbar, 1,2 mbar, 1,4 mbar dan 1,6 mbar diperoleh hasil ketebalan lapisan rata-rata yaitu sebesar 37,06 μm , 38,99 μm , 45,64 μm dan 46,48 μm . Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi tekanan maka ketebalan lapisan akan semakin meningkat.
2. Dari data hasil pengujian struktur mikro material baja tahan karat AISI 410 dengan variasi tekanan 1,0 mbar, 1,2 mbar, 1,4 mbar dan 1,6 mbar diperoleh hasil bahwa pengaruh tekanan tidak merubah fasa pada substrat baja tahan karat AISI 410.
3. Dari hasil pengujian korosi material baja tahan karat AISI 410 tekanan 1,0 mbar didapatkan hasil I_{corr} sebesar 7,1817E-06 A/cm² didapatkan laju korosi sebesar 7,8703E-05 mmpy. Tekanan 1,2 mbar didapatkan hasil I_{corr} sebesar 1,4167E-06 A/cm² didapatkan laju korosi sebesar 1,6612E-05, mmpy. Tekanan 1,4 mbar didapatkan hasil I_{corr} sebesar 1,0648E-06 A/cm² didapatkan laju korosi sebesar 1,2159E-05 mmpy. Tekanan 1,6 mbar didapatkan hasil I_{corr} 5,0269E-07 A/cm² didapatkan laju korosi sebesar 5,13816E-06 mmpy. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan maka laju korosi semakin rendah.

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 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 410 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.
- Anhar, W., Jamal, N., & Suprpto. (2017). Pengaruh Post Treatment Plasma CVD Lapisan Diamond Like Carbon Terhadap Sifat Kekerasan Permukaan Baja AISI 410. *Jurnal Rotor*, 62-66.
- Darmawan , A. S. (2020). *Ilmu Bahan Teknik*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Darmawan, A. S., & Masyrukan. (2019). *Struktur dan Sifat Material*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Hadikarnata, W. N. (2019). Kaji Eksperimen Pengaruh Variasi Dan Persentase Reduksi Penampang Pada Proses Pressing (Tekan) Terhadap Laju Korosi Dan Struktur Mikro Bahan Komposit Almunium-Abu Dasar Barubara. *Tugas Akhir*, 4-28.
- Hatauruk, F. Y., & Fitri, S. P. (2017). Analisa Laju Korosi Pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Galvanis Dengan Metode Elektrokimia. *Tugas Akhir*, 4-15.

- 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*, 1-6.
- Kovaci, H., Bozkurt, Y. B., Yetim, A. F., Baran, O., & Celik, A. (2020). Corrosion and Tribocorrosion Properties Of Duplex Surface Treatments Consisting Of Plasma Nitriding and DLC Coating. *Jurnal Pre-proof*, 3-35.
- Lan, R., Ma, Z., Wang, C., Lu, G., Yuan, Y., & Shi, C. (2019). Microstructral and Tribological Characterization Of DLC Coating By In-situ Duplex Plasma Nitriding and Arc Ion Plating. *Diamon and Related Materials*, 1-5.
- Putro, R. C., & Darmawan, A. S. (2023). Pengaruh Tekanan Terhadap Ketebalan dan Kekerasan Lapisan Diamond Like Carbon pada Baja AISI 410 Yang Dianil. *Tugas Akhir*, 46-50.
- Roberge, P. R. (2008). *Corrosion Enginering*. New York: McGraw-Hil.
- Robertson, J. (2002). *Diamond Like Amorphous Carbon*. Inggris: Materials Science and Enginering.
- 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, & Dimyati, A. (2015). Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, 44-49.