

PENGARUH ANIL DAN PEMBENTUKAN LAPISAN DIAMOND-LIKE CARBON TEKANAN 1,0, 1,2, DAN 1,4 MBAR PADA PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT AISI 410 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN

**Sholihin Widodo Saputra; Ir. Agung Setyo Darmawan, S.T., M.T.,IPM.
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan anil (annealing) dan pembentukan lapisan Diamond-Like Carbon (DLC) dengan metode Plasma Chemical Vapour Deposition (PCVD) terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan baja tahan karat AISI 410. Proses anil dilakukan pada suhu 900°C selama 30 menit dengan pendinginan di dalam tungku untuk meningkatkan ketangguhan material. Setelah proses anil, sampel diberi perlakuan permukaan menggunakan lapisan DLC dengan variasi tekanan 1,0, 1,2, dan 1,4 mbar. Struktur mikro diamati menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) dan ketebalan lapisan diukur pada masing-masing variasi tekanan. Sementara itu, pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Rockwell skala C (HRC) sesuai standar ASTM E18. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan anil menghasilkan struktur mikro berupa fasa ferit dan perlit, serta menurunkan kekerasan material. Pembentukan lapisan DLC melalui proses PCVD menunjukkan peningkatan ketebalan lapisan seiring kenaikan tekanan, dengan ketebalan rata-rata masing-masing sebesar 10,33 μm (1,0 mbar), 15,55 μm (1,2 mbar), dan 16,43 μm (1,4 mbar). Peningkatan tekanan PCVD juga berpengaruh terhadap peningkatan kekerasan permukaan baja AISI 410, di mana kekerasan tertinggi diperoleh pada tekanan 1,4 mbar. Dengan demikian, kombinasi perlakuan anil dan pelapisan DLC mampu meningkatkan kekerasan dan performa permukaan material.

Kata kunci: AISI 410, Annealing, DLC, PCVD, Struktur Mikro, Kekerasan.

Abstract

This study aims to investigate the effect of annealing treatment and the formation of Diamond-Like Carbon (DLC) coating using the Plasma Chemical Vapor Deposition (PCVD) method on the microstructure and surface hardness of AISI 410 stainless steel. The annealing process was carried out at a temperature of 900°C for 30 minutes, followed by furnace cooling to improve the toughness of the material. After annealing, the samples underwent a surface treatment using DLC coating with pressure variations of 1.0, 1.2, and 1.4 mbar. The microstructure was observed using a Scanning Electron Microscope (SEM), and the coating thickness was measured for each pressure variation. Meanwhile, hardness testing was conducted using the Rockwell scale C (HRC) method in accordance with ASTM E18 standards. The results showed that annealing produced a microstructure consisting of ferrite and pearlite phases and decreased the material's hardness. The formation of DLC coatings through the PCVD process showed an increase in coating thickness with increasing pressure, with average thicknesses of 10.33 μm (1.0 mbar), 15.55 μm (1.2 mbar), and 16.43 μm (1.4 mbar), respectively. Increasing the PCVD pressure also had a positive effect on the surface hardness of AISI 410 steel, with the highest hardness achieved at 1.4 mbar

pressure. Therefore, the combination of annealing treatment and DLC coating effectively enhances the hardness and surface performance of the material.

Keywords: AISI 410, Annealing, DLC, PCVD, Microstructure, Hardness.

1. PENDAHULUAN

Baja tahan karat martensit menunjukkan kekuatan, kekerasan, dan ketahanan korosi yang sangat baik pada suhu kamar, serta suhu yang relatif tinggi. Kualitas-kualitas ini membuat mereka sangat dapat diterapkan di berbagai industri. Khususnya AISI 410 baja tahan karat martensit diterapkan secara luas selama manufaktur komponen kunci di ruang angkasa, mobil dan transportasi kapal, turbin gas, teknik petrokimia, dan berbagai industri mekanik lainnya (Zhang dkk, 2021).

Baja tahan karat tipe AISI 410 adalah baja tahan karat martensitik dengan unsur paduan yang dominan adalah karbon dan krom. Baja tahan karat tipe AISI 410 dapat bertahan pada lingkungan yang tingkat korosinya rendah. Kandungan karbon maksimum sebanyak 0,15 % berat dan kromium yaitu sebanyak 11,5 – 13,5 % berat (Senopati dkk, 2016).

Baja AISI 410 mempunyai sifat yang keras dan getas sehingga perlu dilakukan 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. Baja AISI 410 yang sudah diannealing mempunyai sifat tangguh dan lunak (Darmawan dan Masyrukan, 2019).

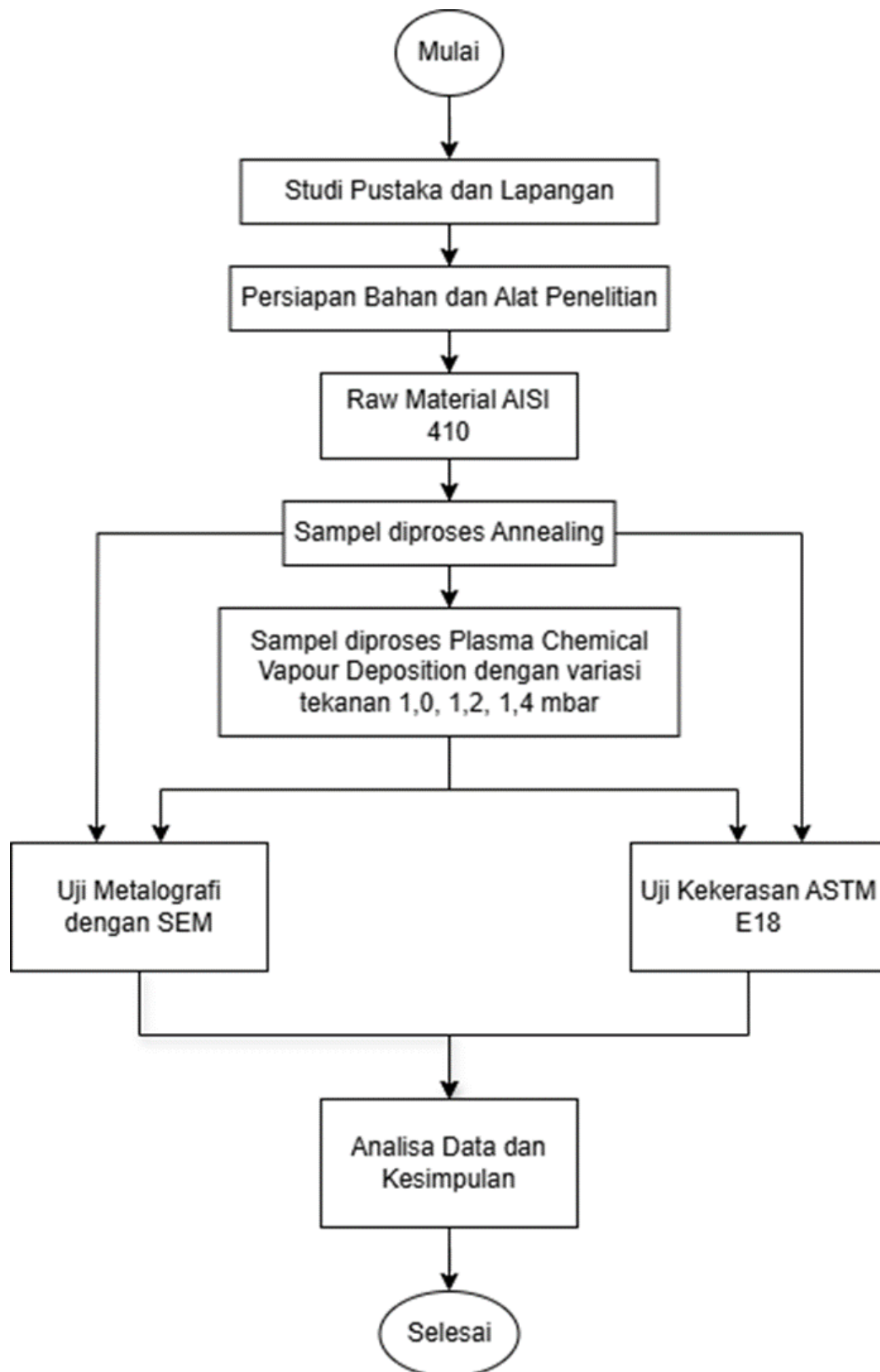
Baja AISI 410 yang dianil saat digunakan untuk komponen yang bergesekan perlu dikeraskan pada permukaannya. Perlakuan pada material seperti perlakuan permukaan (surface treatment) berupa lapisan diperlukan untuk meningkatkan sifat permukaan material karena kegagalan seperti kelelahan, keausan, dan korosi yang berasal langsung dari permukaan material. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah Plasma Chemical Vapour Deposition (PCVD). Dalam pembentukan lapisan pada permukaan material menggunakan Diamond Like Carbon (DLC). Lapisan DLC menjadi perhatian khusus karena sifatnya seperti koefisien gesekan rendah, stabilitas kimia tinggi, tinggi kekerasan, transparansi optik, resistivitas listrik yang tinggi, dan afinitas elektron rendah. Dengan demikian mereka dapat digunakan 2 diperangkat optoelektronik, film pelindung untuk tribologi atau aplikasi kimia, suku cadang otomotif, dan alat pelapis untuk mati atau cetakan dan bagian biologis (Sujitno dkk, 2019).

Setelah proses pembentukan lapisan pada permukaan material menggunakan Diamond Like Carbon (DLC) pada Baja AISI 410 pengujian kekerasan digunakan untuk mengetahui sifat mekanik yang sangat berpengaruh terhadap ketahanan aus dan performa material dalam kondisi kerja tertentu (Moghaddam et al., 2020). Penurunan atau peningkatan kekerasan akibat perlakuan panas dapat memberikan indikasi terhadap perubahan fasa dan distribusi partikel dalam mikrostruktur baja (Rohmah, 2021). Pada baja AISI 410, kekerasan dipengaruhi oleh struktur mikro yang terbentuk setelah perlakuan panas (Moradi et al., 2020). Proses anil dapat menyebabkan perubahan dalam distribusi karbida dan ukuran butir yang akan mempengaruhi tingkat kekerasan material. Kekerasan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan material menjadi rapuh, sementara kekerasan yang terlalu rendah dapat mengurangi ketahanan aus dan daya tahan terhadap beban mekanik. Oleh karena itu, perlakuan panas yang optimal harus dilakukan untuk mendapatkan keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan (Zhang et al., 2021). Pengujian kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode uji kekerasan Rockwell (HRC), yang banyak digunakan untuk mengukur kekerasan material logam, termasuk baja. Metode ini bekerja dengan memberikan tekanan menggunakan indenter berbentuk kerucut intan atau bola baja yang diberi beban tertentu (Bandanadjaja et al., 2020). Nilai kekerasan ditentukan berdasarkan kedalaman jejak indentasi yang dihasilkan oleh beban uji. Pengujian ini dipilih karena mampu memberikan hasil yang akurat dan sesuai untuk karakterisasi baja martensitik seperti AISI 410 (Moradi et al., 2020).

Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh DLC yang dibentuk dengan metode PCVD pada material baja AISI 410 terhadap kekerasan. Sehingga penelitian ini dilakukan dengan judul “PENGARUH ANIL DAN PEMBENTUKAN LAPISAN DIAMOND-LIKE CARBON TEKANAN 1,0, 1,2, DAN 1,4 MBAR PADA PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT AISI 410 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN”

2. METODE

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang harus dilalui. Supaya bisa mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan, maka penelitian akan dilakukan dengan mengikuti sebuah diagram alur yang telah direncanakan atau dirancang. Tahapan tersebut dapat dilihat dalam diagram alir yang ditunjukkan pada gambar.



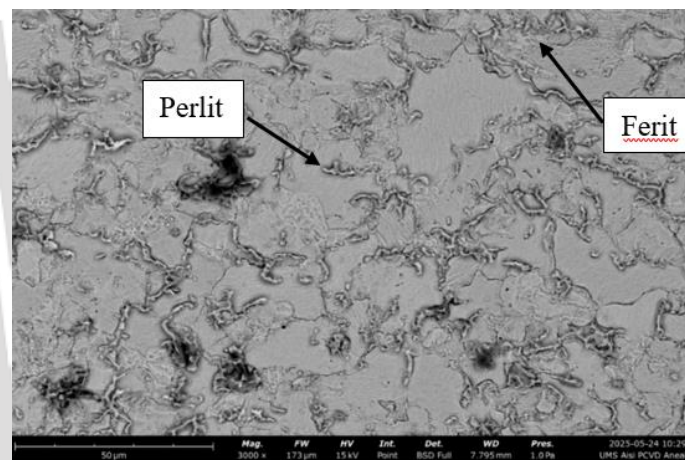
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Metalografi

Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS) merupakan metode pengujian metalografi yang dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dan komposisi kimia pada baja AISI 410. Selain itu, dari data yang diperoleh dapat memberikan gambaran tentang beberapa fasa yang terdapat didalamnya dengan menganalisa foto hasil pengujian Scanning Electron Microscope (SEM). Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta dengan menggunakan alat uji *Thermo Scientific*, seri *Phenom Pro X* sesuai standar ASTM E986.

3.1.1 Hasil Pengujian Metalografi Dengan SEM Baja Tahan Karat AISI 410 Yang Dianil

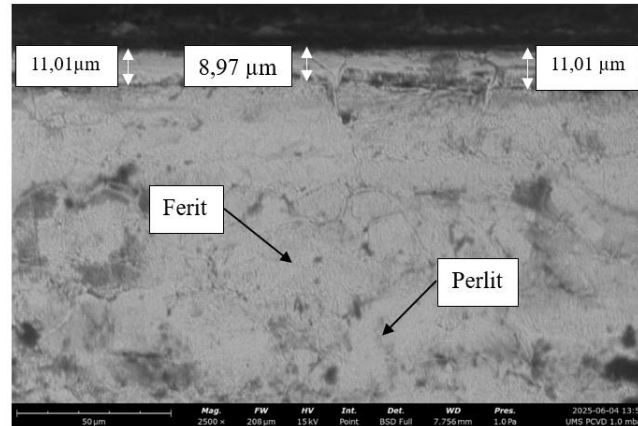


Gambar 2. Baja Tahan Karat AISI 410 yang Diproses Annealing

Berdasarkan Gambar 2 struktur mikro pada sampel menunjukkan keberadaan dua fasa utama, yaitu perlit dan ferit. Fasa perlit merupakan struktur baja eutektoid yang terbentuk saat pendinginan lambat melewati temperatur eutektoid. Struktur ini terdiri dari dua lapisan fasa berbeda, yakni ferit (α) dan sementit (Fe_3C), yang terbentuk secara bersamaan selama proses transformasi. Perlit tampak sebagai lapisan terang dan gelap pada citra mikrografi. Jumlah perlit dalam struktur sangat dipengaruhi oleh kadar karbon, semakin rendah kandungan karbon, semakin sedikit pula jumlah perlit yang terbentuk. Sementara itu, fasa ferit bersifat lunak dan memiliki kecenderungan lebih mudah mengalami korosi. Dalam pengamatan mikroskopis, ferit tampak berwarna putih. Keberadaan fasa ferit ini berdampak pada penurunan kekerasan baja AISI 410. Selain itu, ferit memiliki karakteristik yang memicu proses nukleasi dan penggabungan microvoid, yang pada akhirnya dapat menyebabkan terjadinya fraktur, khususnya saat material terekspos suhu tinggi. Oleh karena itu, jumlah fasa ferit dalam baja

sangat perlu dibatasi untuk menjaga stabilitas dan performa sifat mekanik material secara optimal.

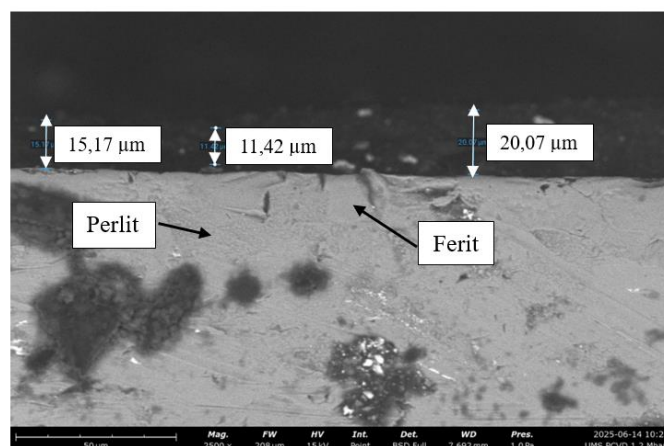
3.1.2 Hasil Pengujian Metalografi Dengan SEM Baja Tahan Karat AISI 410 Yang Diproses PCVD 1,0 mbar



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

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa struktur mikro pada sampel terdiri dari perlit dan ferit. Fasa perlit merupakan campuran dari sementit dan ferit. Banyaknya perlit dipengaruhi oleh kadar karbon, semakin rendah kadar karbon, maka perlit yang terbentuk juga lebih sedikit. Sementara itu, fasa ferit bersifat lebih lunak dan rentan terhadap korosi. Pada Gambar 3 ketebalan lapisan pada baja tahan karat AISI 410 dengan variasi tekanan 1,0 mbar diukur pada 3 titik, masing-masing 11,01 μm , 8,97 μm , dan 11,01 μm . Dari pengukuran tersebut, dapat dihitung rata-rata ketebalannya yaitu 10,33 μm .

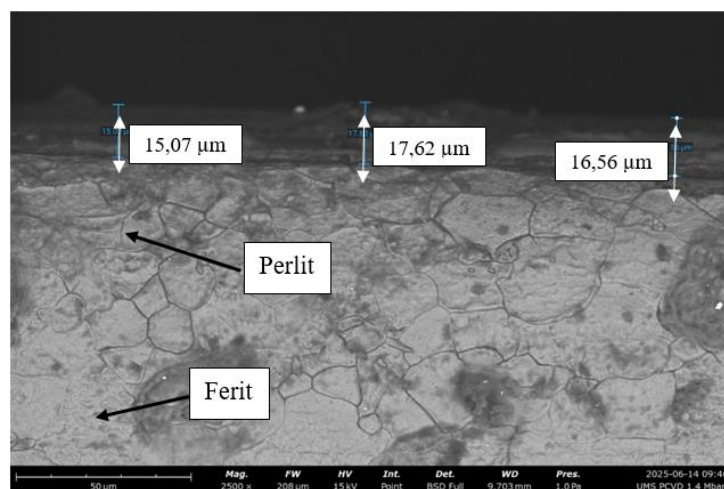
3.1.3 Hasil Pengujian Metalografi Dengan SEM Baja Tahan Karat AISI 410 Yang Diproses PCVD 1,2 mbar



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

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa struktur mikro pada sampel terdiri dari perlit dan ferit. Fasa perlit merupakan campuran dari sementit dan ferit. Banyaknya perlit dipengaruhi oleh kadar karbon, semakin rendah kadar karbon, maka perlit yang terbentuk juga lebih sedikit. Sementara itu, fasa ferit bersifat lebih lunak dan rentan terhadap korosi. Pada Gambar 4. ketebalan lapisan pada baja tahan karat AISI 410 dengan variasi tekanan 1,2 mbar diukur pada 3 titik, masing-masing 15,17 μm , 11,42 μm dan 20,07 μm . Dari pengukuran tersebut, dapat dihitung rata-rata ketebalannya yaitu 15,55 μm .

3.1.4 Hasil Pengujian Metalografi Dengan SEM Baja Tahan Karat AISI 410 Yang Diproses PCVD 1,4 mbar



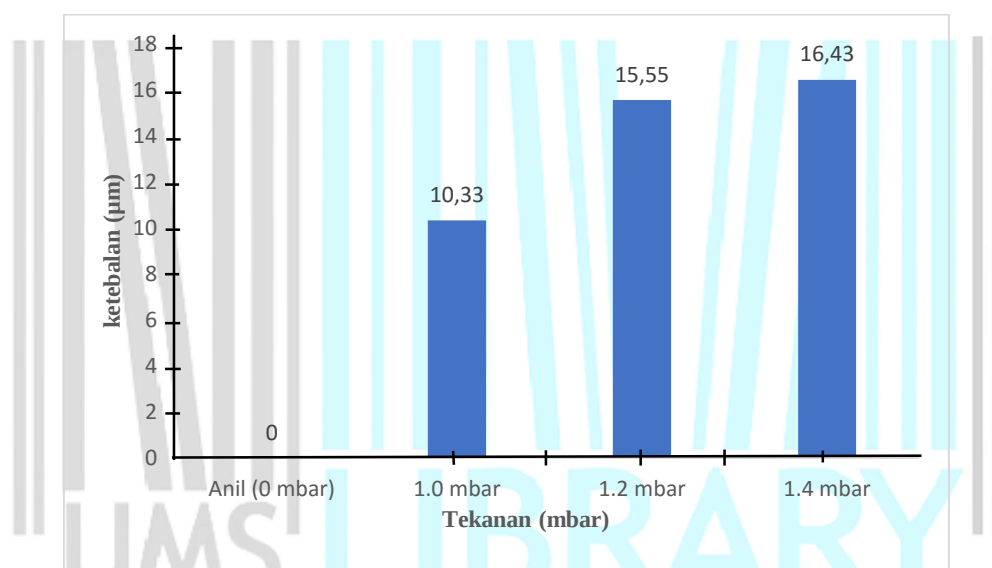
Gambar 5. Ketebalan Lapisan Baja Tahan Karat AISI 410 1,4 mbar

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa struktur mikro pada sampel terdiri dari perlit dan ferit. Fasa perlit merupakan campuran dari sementit dan ferit. Banyaknya perlit dipengaruhi oleh kadar karbon, semakin rendah kadar karbon, maka perlit yang terbentuk juga lebih sedikit. Sementara itu, fasa ferit bersifat lebih lunak dan rentan terhadap korosi. Pada Gambar 6 ketebalan lapisan pada baja tahan karat AISI 410 dengan variasi tekanan 1,4 mbar diukur pada 3 titik, masing-masing 15,02 μm , 17,62 μm dan 16,56 μm . Dari pengukuran tersebut, dapat dihitung rata-rata ketebalannya yaitu 16,43 μm .

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

Tabel 1 Data Hasil Uji SEM

Material	Tekanan			
	Anil 0 mbar (μm)	1,0 mbar (μm)	1,2 mbar (μm)	1,4 mbar (μm)
Ketebalan Lapisan pada baja AISI 410 yang dianil dan di PCVD	0	10,33	15,55	16,43



Gambar 6 Histogram Perbandingan Ketebalan Lapisan Proses PCVD

3.1.1 Hasil Pengujian Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) Baja Tahan Karat AISI 410 Yang Dianil pada fasa Ferit

Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) spektrum pertama dilakukan pada fasa ferit, titik ini dapat dilihat pada gambar 7. Pada gambar 7 didapatkan *line analysis* EDS fasa ferit seperti yang ditunjukkan gambar 8. Dari *line analysis* fasa ferit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa ferit baja aisi 410. Ferro (Fe) merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 60.673% atom. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 4.2 dengan presentase komposisi yaitu, unsur Carbon (C) sebesar 25.851% atom, chromium (Cr) sebesar 13.473% atom



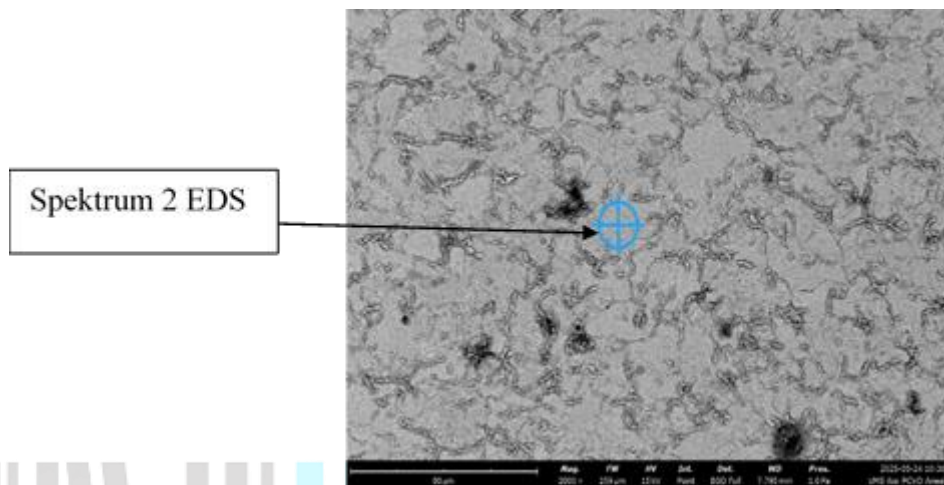
Tabel 2. Hasil Line Analysis Fasa Ferit Baja Aisi 410 Anil (Spektrum 1)

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	25.851	7.056
	24	Cr	Chromium	13.476	15.927
	26	Fe	Iron	60.673	77.016

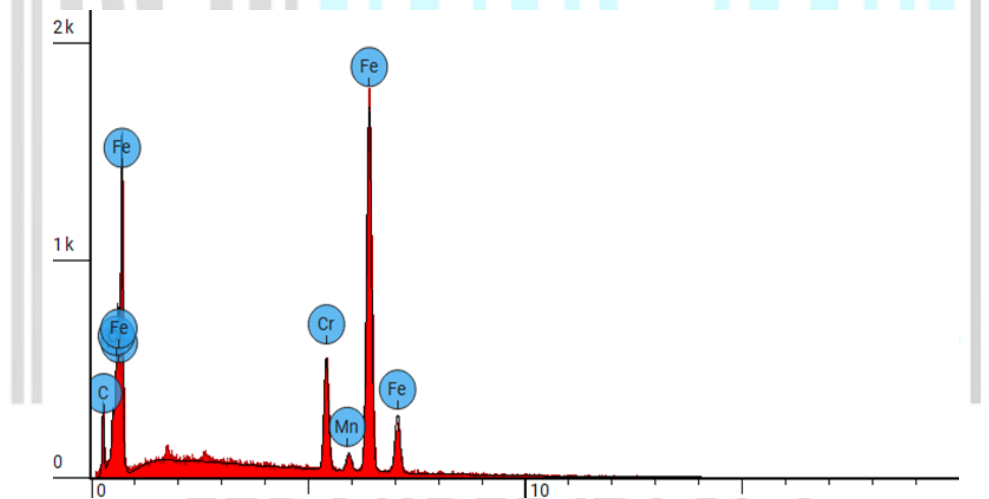
3.1.2 Hasil Pengujian Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) Baja Tahan Karat AISI 410 Yang Dianil pada fasa Perlit

Pengujian Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) spektrum kedua dilakukan pada fasa perlit, titik ini dapat dilihat pada gambar 9. Pada gambar 9 didapatkan line analysis EDS fasa perlit seperti yang ditunjukkan gambar 10. Dari line analysis fasa perlit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa perlit baja aisi 410. Ferro (Fe) merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 63.266% atom. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 3 dengan presentase komposisi yaitu, unsur Carbon (C) sebesar

23.672% atom, chromium (Cr) sebesar 12.323% atom, dan Manganese (Mn) sebesar 0.739% atom.



Gambar 9. EDS Substrat Pada Fasa Perlit



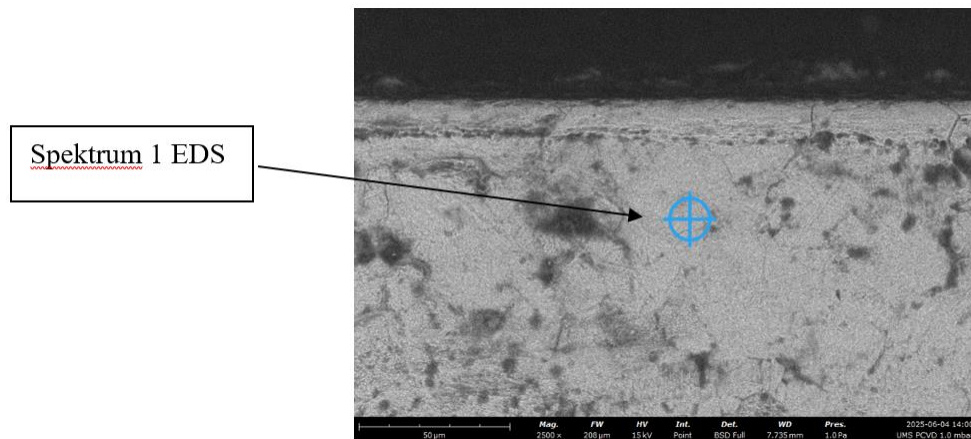
Gambar 10. Line Analysis Fasa Perlit Baja Aisi 410 Anil (spektrum 2)

Tabel 1. Hasil Line Analysis Fasa Perlit Baja Aisi 410 Anil (Spektrum 2)

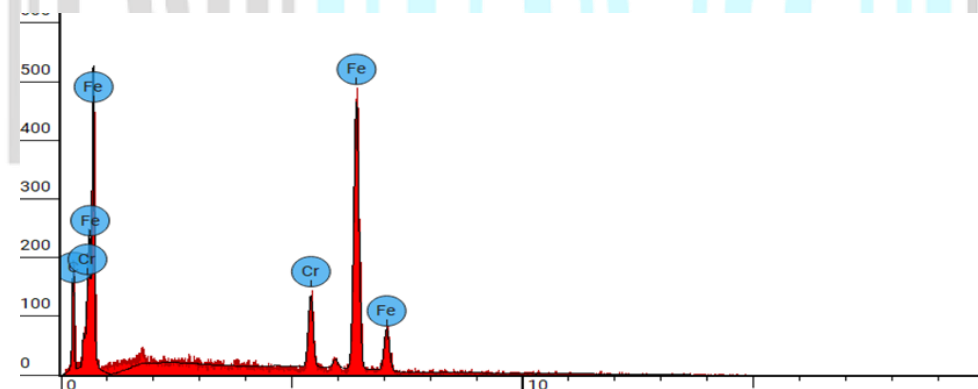
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	23.672	6.319
	24	Cr	Chromium	12.323	14.243
	25	Mn	Manganese	0.739	0.903
	26	Fe	Iron	63.266	78.536

3.1.3 Hasil Pengujian Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) Baja Tahan Karat AISI 410 proses PCVD tekanan 1,0 mbar pada fasa Ferit

Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) spektrum pertama dilakukan pada fasa ferit, titik ini dapat dilihat pada gambar 11. Pada gambar 11 didapatkan *line analysis* EDS fasa ferit seperti yang ditunjukkan gambar 12. Dari *line analysis* fasa ferit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa ferit baja aisi 410. Ferro (Fe) merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 56.692% atom. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 4 dengan presentase komposisi yaitu, unsur Carbon (C) sebesar 33.591% atom, chromium (Cr) sebesar 9.717% atom.



Gambar 11. EDS Substrat Pada Fasa Ferit



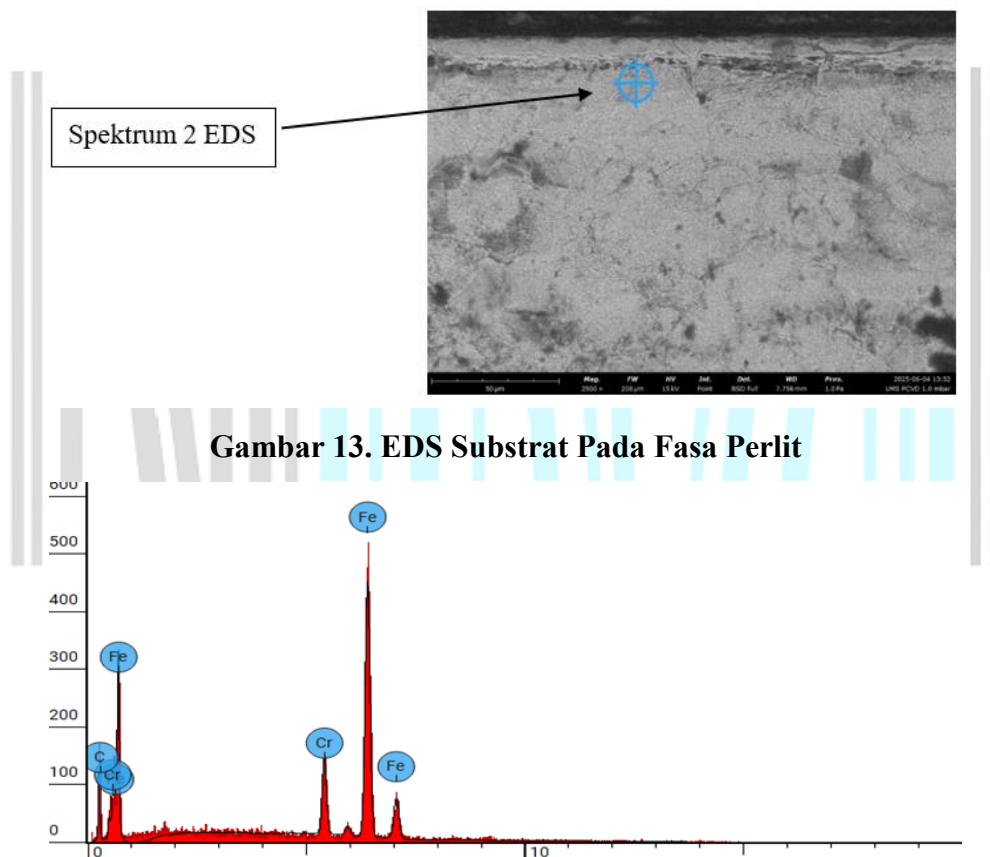
Gambar 12. *Line Analysis* Fasa Ferit Baja Aisi 410 PCVD 1,0 mbar (Spektrum 1)

Tabel 2 Hasil *Line Analysis* Fasa Ferit Baja Aisi 410 PCVD 1,0 mbar (Spektrum 1)

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	33.591	9.900
	24	Cr	Chromium	9.717	12.400
	26	Fe	Iron	56.692	77.700

3.1.4 Hasil Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) Baja Tahan Karat AISI 410 proses PCVD tekanan 1,0 mbar pada fasa Perlit

Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) spektrum kedua dilakukan pada fasa perlit, titik ini dapat dilihat pada gambar 13. Pada gambar 13 didapatkan *line analysis* EDS fasa ferit seperti yang ditunjukkan gambar 14. Dari *line analysis* fasa perlit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa perlit baja aisi 410. Ferro (Fe) merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 51.071% atom. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 5 dengan presentase komposisi yaitu, unsur Carbon (C) sebesar 39.210% atom, chromium (Cr) sebesar 9.719% atom.



Gambar 13. EDS Substrat Pada Fasa Perlit

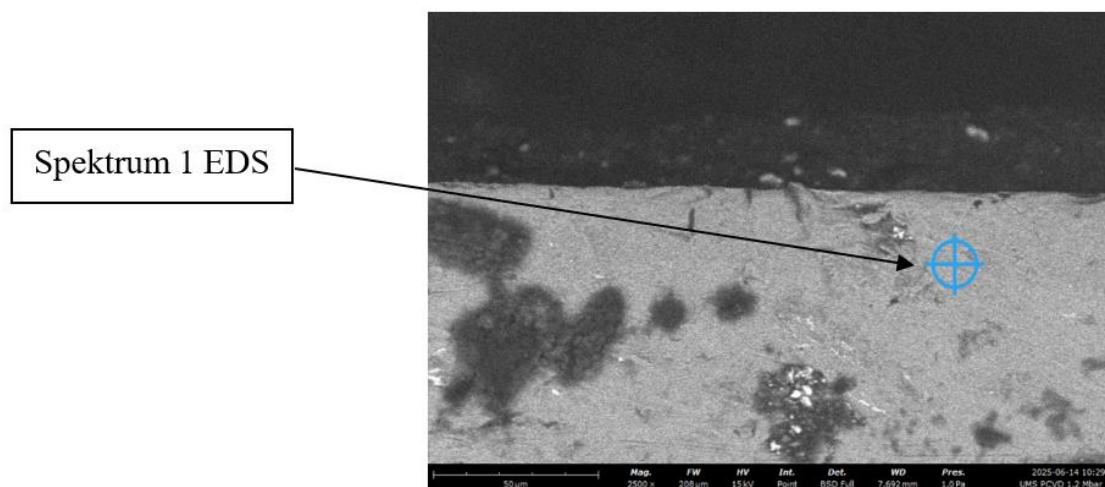
Gambar 14 Line Analysis Fasa Perlit Baja Aisi 410 PCVD 1,0 mbar (Spektrum 2)

Tabel 5 Hasil Line Analysis Fasa Perlit Baja Aisi 410 PCVD 1,0 mbar (Spektrum 2)

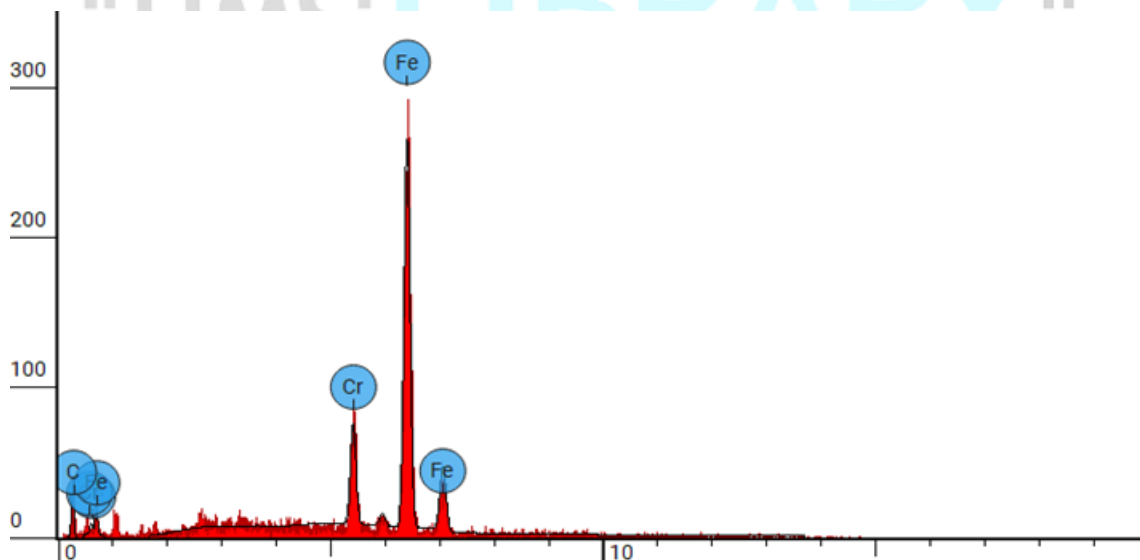
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	39.210	12.300
	24	Cr	Chromium	9.719	13.200
	26	Fe	Iron	51.071	74.500

3.1.5 Hasil Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) Baja Tahan Karat AISI 410 proses PCVD tekanan 1,2 mbar pada fasa Ferit

Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) spektrum pertama dilakukan pada fasa ferit, titik ini dapat dilihat pada gambar 15. Pada gambar 15 didapatkan *line analysis* EDS fasa ferit seperti yang ditunjukkan gambar 16. Dari *line analysis* fasa ferit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa ferit baja aisi 410. Carbon (C) merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 69.016% atom. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 6 dengan presentase komposisi yaitu, unsur Ferro (Fe) sebesar 26.632% atom, chromium (Cr) sebesar 4.352% atom.



Gambar 15 EDS Substrat Pada Fasa Ferit



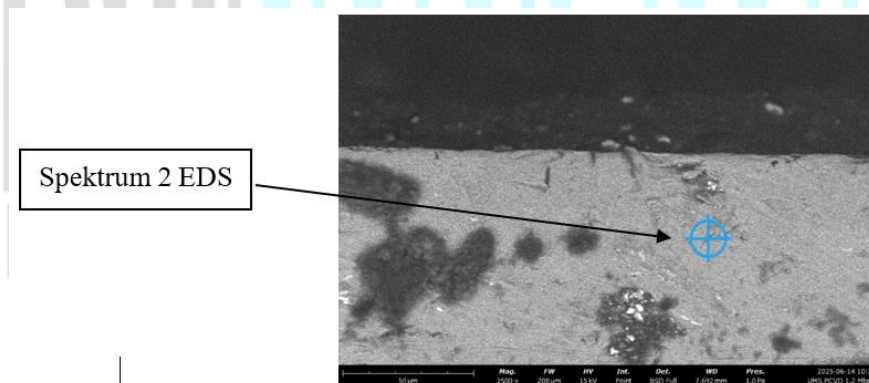
Gambar 16 *Line Analysis* Fasa Ferit Baja Aisi 410 PCVD 1,2 mbar (Spektrum 1)

Tabel 3 Hasil *Line Analysis* Fasa Ferit Baja Aisi 410 PCVD 1,2 mbar (Spektrum 1)

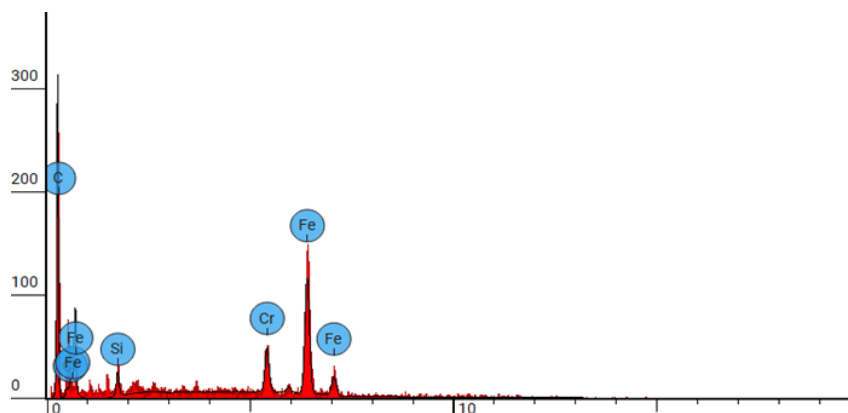
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	69.016	32.600
	24	Cr	Chromium	4.352	8.900
	26	Fe	Iron	26.632	58.500

3.1.6 Hasil Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) Baja Tahan Karat AISI 410 proses PCVD tekanan 1,2 mbar pada fasa Perlit

Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) spektrum kedua dilakukan pada fasa perlit, titik ini dapat dilihat pada gambar 17. Pada gambar 17 didapatkan *line analysis* EDS fasa perlit seperti yang ditunjukkan gambar 18. Dari *line analysis* fasa perlit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa perlit baja aisi 410. Carbon (C) merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 75.052% atom. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 7 dengan presentase komposisi yaitu, unsur Ferro (Fe) sebesar 19.319% atom, silicon (Si) sebesar 0,960% atom, dan chromium (Cr) sebesar 9.719% atom.



Gambar 17. EDS Substrat Pada Fasa Perlit



Gambar 18. *Line Analysis* Fasa Perlit Baja Aisi 410 PCVD 1,2 mbar (Spektrum 2)

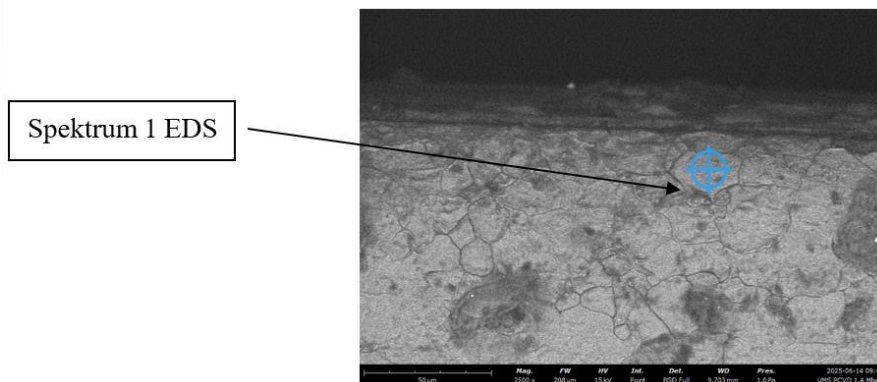
Tabel 4 Hasil *Line Analysis* Fasa Perlit Baja Aisi 410 PCVD 1,2 mbar (Spektrum 2)

	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	75.052	40.060
	14	Si	Silicon	0.960	1.199
	24	Cr	Chromium	4.669	10.789
	26	Fe	Iron	19.319	47.952

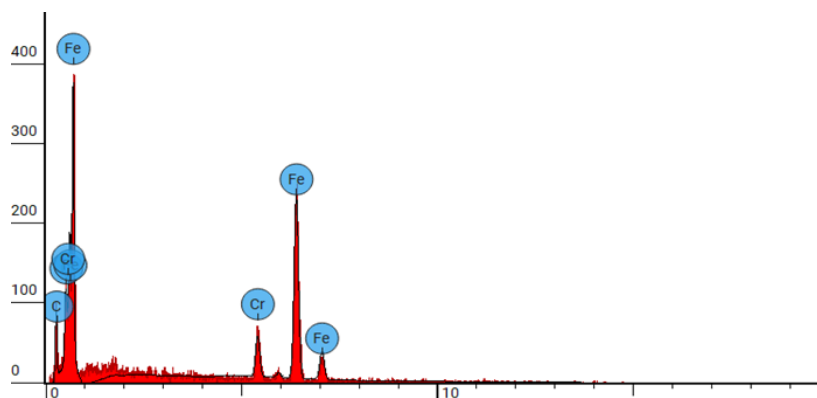
3.1.7 Hasil Pengujian Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) Baja Tahan Karat

AISI 410 proses PCVD tekanan 1,4 mbar pada fasa Ferit

Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) spektrum pertama dilakukan pada fasa ferit, titik ini dapat dilihat pada gambar 19. Pada gambar 19 didapatkan *line analysis* EDS fasa ferit seperti yang ditunjukkan gambar 20. Dari *line analysis* fasa ferit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa ferit baja aisi 410. Ferro (Fe) merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 63.802% atom. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 8 dengan presentase komposisi yaitu, unsur Carbon (C) sebesar 21.532% atom, Oxygen (O) sebesar 5.479% atom, dan chromium (Cr) sebesar 9.187% atom.



Gambar 19. EDS Substrat Pada Fasa Ferit



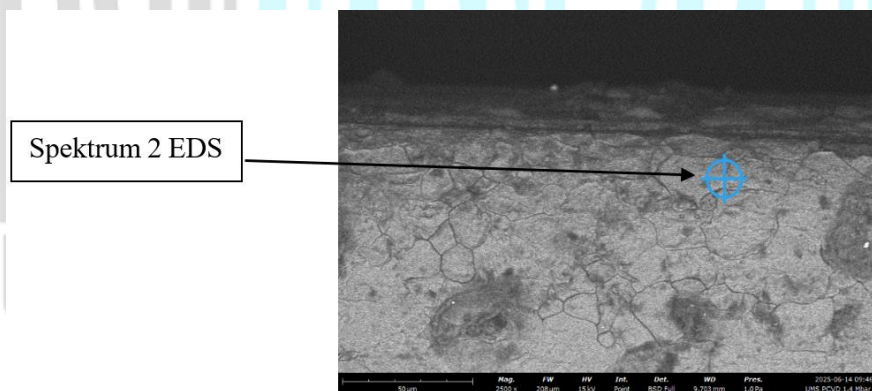
Gambar 20. *Line Analysis* Fasa Ferit Baja Aisi 410 PCVD 1,4 mbar (Spektrum 1)

Tabel 5 Hasil *Line Analysis* Fasa Ferit Baja Aisi 410 PCVD 1,4 mbar (Spektrum 1)

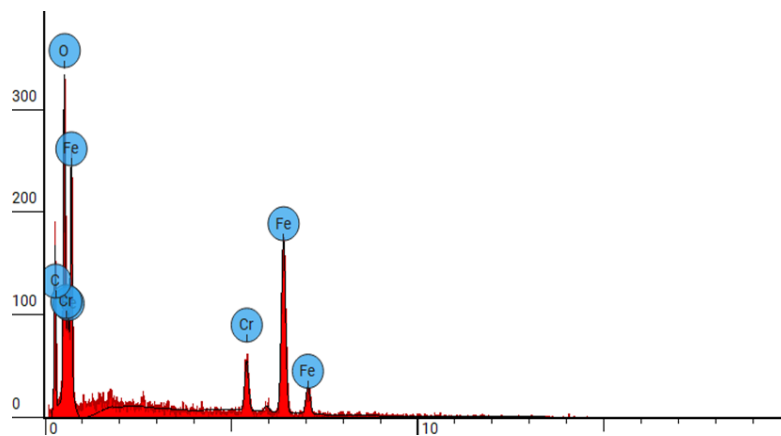
	Element Number		Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6		C	Carbon	21.532	5.894
	8		O	Oxygen	5.479	1.998
	24		Cr	Chromium	9.187	10.889
	26		Fe	Iron	63.802	81.219

3.1.8 Hasil Pengujian Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) Baja Tahan Karat AISI 410 proses PCVD tekanan 1,4 mbar pada fasa Perlit

Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) spektrum kedua dilakukan pada fasa perlit, titik ini dapat dilihat pada gambar 21. Pada gambar 21 didapatkan *line analysis* EDS fasa perlit seperti yang ditunjukkan gambar 22. Dari *line analysis* fasa perlit diketahui bahwa terdeteksi beberapa unsur komposisi kimia pada spektrum fasa ferit baja aisi 410. Ferro (Fe) merupakan unsur dengan kapasitas tertinggi sebesar 40.558% atom. Sedangkan untuk unsur lainnya dapat dilihat pada tabel 9 dengan presentase komposisi yaitu, unsur Carbon (C) sebesar 31.108% atom, oxygen (O) sebesar 20.826% atom, dan chromium (Cr) sebesar 7.508% atom.



Gambar 21. EDS Substrat Pada Fasa Perlit



Gambar 22 *Line Analysis* Fasa Perlit Baja AISI 410 PCVD 1,4 mbar (Spektrum 2)

Tabel 6 Hasil *Line Analysis* Fasa Perlit Baja AISI 410 PCVD 1,4 mbar (Spektrum 2)

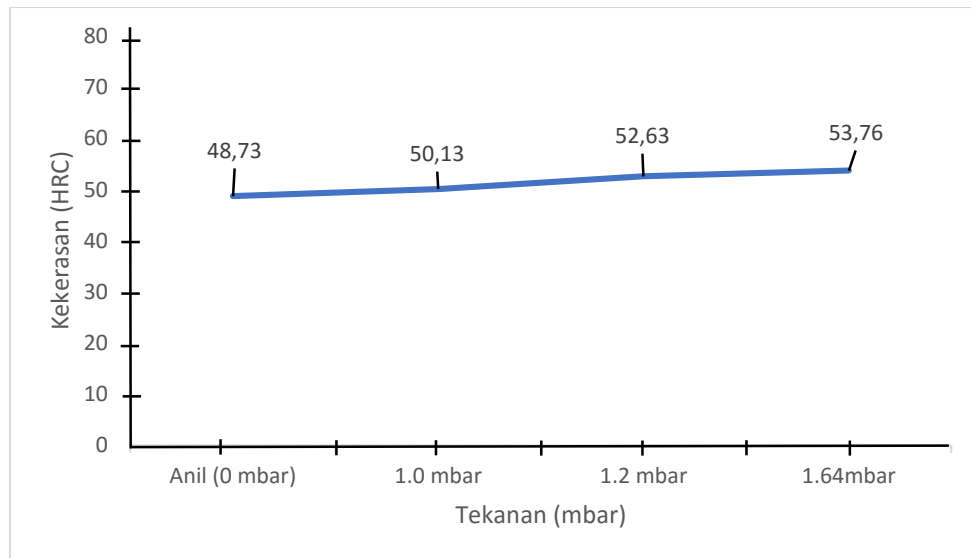
	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
	6	C	Carbon	31.108	11.111
	8	O	Oxygen	20.826	9.910
	24	Cr	Chromium	7.508	11.612
	26	Fe	Iron	40.558	67.367

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Salah satu jenis metode pengujian kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Rockwell yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Tabel 10 Hasil Uji Kekerasan

No	Specimen	Beban (Kg.f)	Kekerasan Pada Titik Pengujian (HRC)			Kekerasan rata-rata (HRC)
			1	2	3	
1.	Annealing	150	43,2	52,0	51,0	48,73
2.	PCVD 1,0 mbar	150	54,0	48,7	47,7	50,13
3.	PCVD 1,2 mbar	150	48,5	55,2	54,2	52,63
4.	PCVD 1,4 mbar	150	55,7	51,4	54,2	53,76



Gambar 23 Grafik Kekerasan Lapisan Proses PCVD

Pada tabel 10 merupakan hasil data uji kekerasan rockwell dengan spesimen baja AISI 410 proses annealing dan PCVD tekanan 1,0 mbar, 1,2 mbar, 1,4 mbar setiap spesimen dilakukan pengujian sebanyak tiga titik indentasi dengan penentuan acak. Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 4.10, dapat diketahui bahwa didapatkan nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen baja AISI 410 PCVD tekanan 1,4 mbar dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 53,76 HRC. Peningkatan kekerasan ini disebabkan oleh tingginya kandungan lapisan diamond-like carbon (DLC) yang terbentuk pada permukaan spesimen selama proses PCVD. Tekanan yang lebih tinggi selama proses PCVD meningkatkan densitas dan kualitas lapisan tersebut, sehingga meningkatkan kekerasan permukaan material. Sedangkan nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen baja AISI 410 PCVD tekanan 1,0 mbar dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 50,13 HRC. Rendahnya nilai kekerasan ini disebabkan oleh kandungan lapisan DLC yang minim akibat tekanan PCVD yang rendah, sehingga lapisan pelindung yang terbentuk tidak optimal dalam meningkatkan kekerasan permukaan.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

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

1. Proses anil memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan struktur mikro pada baja AISI 410. Selama proses anil berlangsung, terjadi transformasi fasa yang ditandai dengan penurunan jumlah martensit dan austenit sisa, yang selanjutnya mengalami perubahan menjadi fasa ferrit dan perlit. Selain itu, nilai kekerasan baja AISI 410 juga mengalami penurunan setelah melalui proses anil, seiring dengan terjadinya perubahan fasa tersebut.
2. Pengaruh tekanan pada proses PCVD terhadap struktur mikro, ketebalan lapisan, dan kekerasan baja AISI 410 yang dianil menunjukkan bahwa peningkatan tekanan dalam proses pelapisan DLC menghasilkan peningkatan ketebalan lapisan dan kekerasan permukaan. Ketebalan lapisan meningkat dari 10,33 μm (1,0 mbar) menjadi 16,43 μm (1,4 mbar), sedangkan nilai kekerasan meningkat berturut-turut menjadi 50,13 HRC (1,0 mbar), 52,63 HRC (1,2 mbar), dan 53,76 HRC (1,4 mbar). Hal ini membuktikan bahwa tekanan yang lebih tinggi dalam proses PCVD berkontribusi terhadap pembentukan lapisan yang lebih tebal dan peningkatan kekerasan permukaan baja AISI 410

4.2 Saran

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

1. Perlu dilakukannya pengujian perambatan retak untuk mengetahui pengaruh tekanan pada proses PCVD baja AISI 410 yang dianil
2. Perlu dilakukannya pengujian fatigue untuk mengetahui pengaruh tekanan pada proses PCVD baja AISI 410 yang dianil.

DAFTAR PUSTAKA

- Anhar, W., & Jamal, N. (2017). 5150-325-10157-3-10-20170911. 10(April), 62–66.
- Creighton, J. R., & Ho, P. (2001). Chapter 1 Introduction to Chemical Vapor Deposition (CVD). *Chemical Vapor Deposition*, 1–13.
- Darmawan, A. S., & Masyrukan. (2019). Struktur dan Sifat Material. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Dobkin, D. M., & Zuraw, M. K. (2003). Principles of Chemical Vapor Deposition. *Principles of Chemical Vapor Deposition*. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-0369-7>
- Kartikasari, R., & Oky, M. (2022). PENGARUH SHOT PEENING TERHADAP KARAKTERISTIK PERMUKAAN SS 301 SETELAH PROSES ANIL. 21(September), 32–37.
- Kekerasan, K., Struktur, D. A. N., & Baja, M. (2020). Rais J., Jurnal. 13(November), 43–48.

- Kurniawan, I., Budiarto, U., & Mulyatno, I. P. (2019). Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Uji Metalografi Baja S45C Sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal (Propeller Shaft) Setelah Proses Tempering. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1), 313–322.
- Noor Setyo, V. M. (2012). *Pengaruh Kuat Arus Pada Pelapisan Nickel Dan Nickel-Hard Chromium Plating Terhadap Sifat Fisi Dan Mekanis Permukaan Baja AISI 410*. 17–22. malau@ugm.ac.id, malauviktor@yahoo.com%0Anoorsetyo@yahoo.com
- Norman, J. A. T. (2000). *United States Patent [19] METHOD FOR THE CHEMICAL VAPOR Date of Patent : 262(1995)*.
- Nugroho, E., Handono, S. D., Asroni, A., & Wahidin, W. (2019). Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin pada Proses Heat Treatment Baja AISI 1045 terhadap Kekerasan dan Laju Korosi. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 99–110. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.933>
- Puspasari, V., Agung, M., Velix, J., Penelitian, P., & Serpong, K. P. (2020). *PENGARUH ANNEALING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAHAN KARAT AISI 410-3M O -3Ni*. 75–82.
- Rais, J., Sunardi, S., & Listijorini, E. (2020). Karakterisasi Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi 410 Pada Proses Tempering Dengan Variasi Media Pendingin. *Rotor*, 13(2), 43. <https://doi.org/10.19184/rotor.v13i2.21355>
- Robertson, J. (2002). *Diamond-like amorphous carbon*. 37, 129–281.
- Roberge, P. R. (1999). *Handbook of corrosion engineering*. McGraw-Hill Professional.
- Saifudin, Purwanto, W., & Su, J. C. T. (2020). Characteristics of diamond-like carbon coating using plasma assisted chemical vapor deposition on steel tool. *Automotive Experiences*, 3(1), 27–32. <https://doi.org/10.31603/ae.v3i1.3417>
- Senopati, G., Sutowo, C., & Mabruri, E. (2016a). *Aisi 410 u*. 1–6.
- Senopati, G., Sutowo, C., & Mabruri, E. (2016b). FENOMENA TEMPER EMBRITTLEMENT PADA BAJA MARTENSITIK AISI 410 UNTUK APLIKASI STEM GATE VALVE 20” CLASS 150 GRADE WCB. *METALURGI*, 1–6.
- Suharlan, D., Malau, V., Sujitno, T., Sains dan Teknologi Akselerator BATAN Yogyakarta, P., & Babarsari Kotak, J. (2019). Deposisi Lapisan Tipis Dlc (Diamond-Like Carbon) Dengan Teknik Cvd (Chemical Vapour Deposition) Pada Permukaan Machinery Steel Hq 805. *Prosiding Seminar Nasional Energi & Teknologi (Sinergi)*, 333–341. <https://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/sinergi/article/view/1640>
- Vahlas, C., Caussat, B., Serp, P., & Angelopoulos, G. N. (2006). Principles and applications of CVD powder technology. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 53(1–2), 1–72. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2006.05.001>
- Wang, Y., Cao, X., Zhang, Z., Huang, K., Peng, G., Fang, T., He, Y., & Wu, J. (2019). Formation and wear performance of diamond-like carbon films on 316L stainless steel prepared by cathodic plasma electrolytic deposition. *Diamond and Related Materials*, 95(April), 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2019.04.008>
- William D. Callister, J. D. G. R. (2018). *MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*. In *Department of Metallurgical Engineering, The University of Utah, David G. Rethwisch, Department of Chemical and Biochemical Engineering, The University of Iowa*. Description: https://doi.org/10.1142/9789814374064_0002
- Zhang, Y., Guo, B., Li, Q., Li, X., Jian, J., Jin, Y., & Ao, J. (2021). Damage and Cracking Prediction of AISI 410 Martensitic Stainless Steel at Elevated Temperatures. *Steel Research International*, 92(9), 1–12. <https://doi.org/10.1002/srin.202100030>