

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

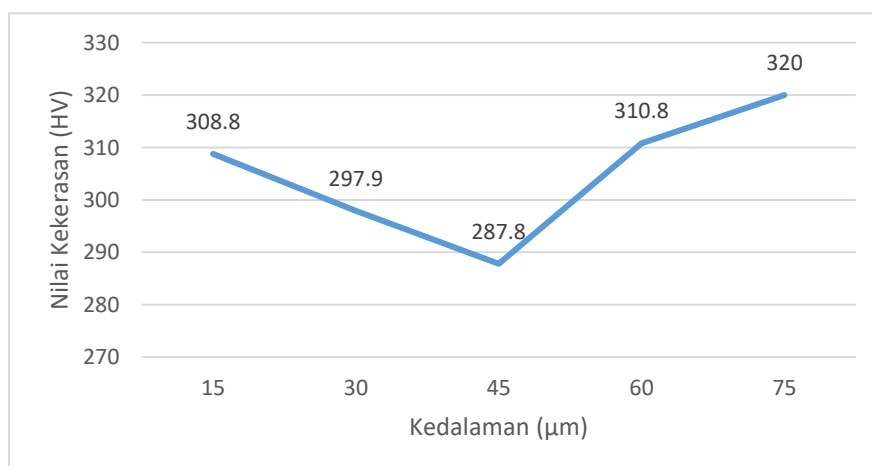
4.1.1 Data Hasil Pengujian Kedalaman Pengerasan Permukaan

Dari hasil proses karburisasi dengan suhu proses 700°C, 800°C, 900°C selama 3 jam pada *fluidized bed furnace* maka dilakukan evaluasi dari hasil proses ini, pengevaluasian dilakukan pada hasil kedalaman pengerasan permukaan yang terjadi. Pada uji *micro vickers* menggunakan 5 titik sampel, beban indentasi sebesar 500 gram, jarak 15 µm dan waktu pembebanan 10 detik. Pengukuran ini dimulai dari sisi terluar dengan jarak 15 µm kemudian jarak antara titik 2 dengan titik-titik berikutnya masing-masing 15 µm.

Data hasil pengujian kedalaman pengerasan permukaan yakni:

Tabel 4. 1 Kekerasan Permukaan Spesimen Tanpa Perlakuan Panas

Kedalaman (µm)	Kekerasan (HV)
15	308.8
30	297.9
45	287.8
60	310.8
75	320.0
Rata-Rata	305



Gambar 4. 1 Tabel Kedalaman Pengerasan Spesimen Awal

Dari hasil pengujian Kekerasan permukaan spesimen tanpa perlakuan panas didapatkan hasil pengujian kekerasan sebesar 308.8 HV pada jarak 15 μm , kekerasan sebesar 297.9 HV pada jarak 30 μm , kekerasan sebesar 287.8 HV pada jarak 45 μm , kekerasan sebesar 310.8 HV pada jarak 60 μm , kekerasan sebesar 320.0 HV pada jarak 75 μm . Pada tabel 4.1 didapatkan nilai rata-rata kekerasan 305,06 HV pada spesimen baja paduan rendah AISI 4140 yang tidak diproses karburisasi. Hal ini sangat berbanding lurus dengan teori dan juga penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Panggih Dwi Raharjo dkk (2016) yang menunjukkan kekerasan awal pada baja AISI 4140 antara 200-300 HV

Data kekerasan spesimen setelah proses karburisasi ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 2 Tabel Kedalaman pengerasan Spesimen Setelah Proses Karburisasi 700°C

Kode Spesimen	Kedalaman Titik Pengujian (μm)	Kekerasan (HV)
Karburisasi 700°C @ 3 Jam	15	373.5
	30	370.5
	45	364.1
	60	355.3
	75	349.5

Dari grafik di atas kedalaman pengerasan permukaan yang dihasilkan pada proses karburisasi pada temperatur 700°C dengan penahanan selama 3 jam mempunyai kedalaman pengerasan sedalam 180 μm . Nilai kekerasan dari kedalaman 15 μm sebesar 373.5 HV, nilai tersebut naik sebesar 22% dari rata-rata kekerasan permukaan spesimen tanpa karburisasi.

Tabel 4. 3 Tabel Kedalaman Pengerasan Spesimen Setelah Proses Karburisasi 800°C

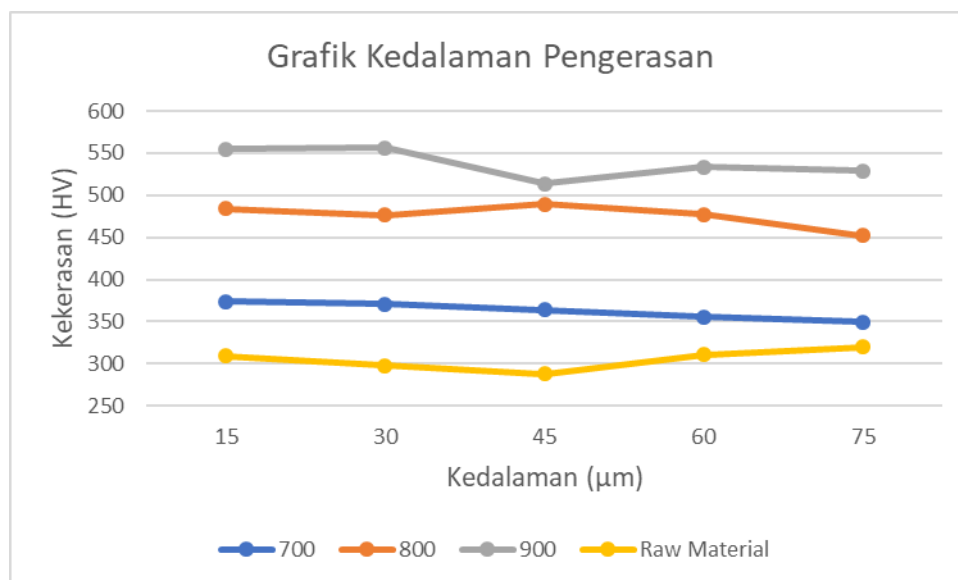
Kode Spesimen	Kedalaman Titik Pengujian (μm)	Kekerasan (HV)
Karburisasi 800°C @ 3 Jam	15	484.3
	30	476.2
	45	489.1
	60	476.9
	75	452.4

Dari grafik di atas kedalaman pengerasan permukaan yang dihasilkan pada proses karburisasi pada temperatur 800°C dengan penahanan selama 3 jam mempunyai kedalaman pengerasan sedalam 345 μm . Nilai kekerasan dari kedalaman 15 μm sebesar 484.3 HV, nilai tersebut naik sebesar 58% dari rata-rata kekerasan permukaan spesimen tanpa karburisasi.

Tabel 4. 4 Tabel Kedalaman Pengerasan Setelah Proses Karburisasi 900°C

Kode Spesimen	Jumlah Titik Pengujian (μm)	Kekerasan (HV)
Karburisasi 900°C @ 3 Jam	15	555.2
	30	556.2
	45	513.5
	60	533.7
	75	529.0

Dari grafik di atas kedalaman pengerasan permukaan yang dihasilkan pada proses karburisasi pada temperatur 900°C dengan penahanan selama 3 jam mempunyai kedalaman pengerasan sedalam 705 μm . Nilai kekerasan dari kedalaman 15 μm sebesar 555.2 HV, nilai tersebut naik sebesar 82% dari rata-rata kekerasan permukaan spesimen tanpa karburisasi.



Gambar 4. 2 Grafik Kedalaman Pengerasan Spesimen Setelah Proses Karburisasi Pada Variasi Temperatur 700 °C, 800 °C, dan 900°C

Tabel 4. 5 Perubahan Nilai Kekerasan dan Kedalaman Pengerasan Spesimen Uji

Kode Spesimen	Kekerasan Pada Kedalaman 15 μm	Kenaikan Kekerasan dari Material Awal (%)	Kedalaman Pengerasan dari Material Awal (μm)
Material Awal	308	0	0
700 °C	373.5	22	180
800 °C	484.3	57	345
900 °C	555.2	80	705

Grafik pada Gambar 4.2 menunjukkan kedalaman pengerasan spesimen dengan variasi temperatur karburisasi 700°C, 800°C, dan 900°C hingga kedalaman 75 μm , dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa semakin jauh dari permukaan, terjadi penurunan kekerasan. Hal ini menunjukkan terjadinya *case hardening* pada sampel karena proses karburisasi. Pada proses ini terjadi difusi karbon dari atmosfer di dalam *furnace* ke dalam baja melalui permukaan sehingga permukaan akan menjadi bagian paling keras, berturut-turut ke bagian inti semakin mendekati kekerasan logam dasar. Semakin tinggi variasi temperatur menghasilkan kedalaman pengerasan semakin dalam.

Hasil ini berbanding lurus dengan penelitian Sudiro (2013) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa temperatur pemanasan memberikan pengaruh terhadap harga kekerasan baja karbon rendah, di mana semakin tinggi temperatur pemanasan maka semakin tinggi pula harga kekerasannya. Kekerasan pada kedalaman 15 μm pada spesimen yang telah diproses karburisasi pada temperatur 700°C mengalami peningkatan 22%, sedangkan kekerasan pada spesimen yang telah diproses karburisasi pada temperatur 800°C mengalami peningkatan 57%, dan kekerasan pada spesimen yang telah diproses karburisasi pada temperatur 900°C mengalami peningkatan 80% dari material awal yang belum diproses karburisasi.

4.1.2 Analisis Struktur Mikro

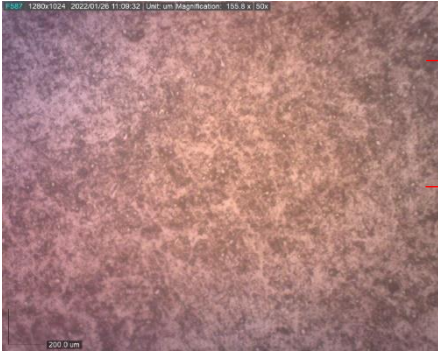
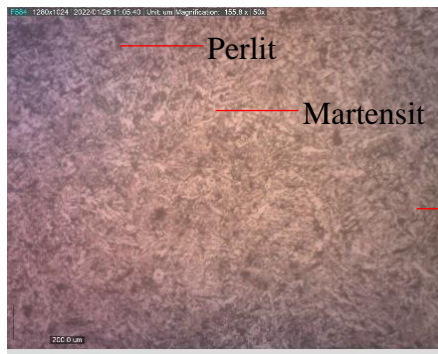
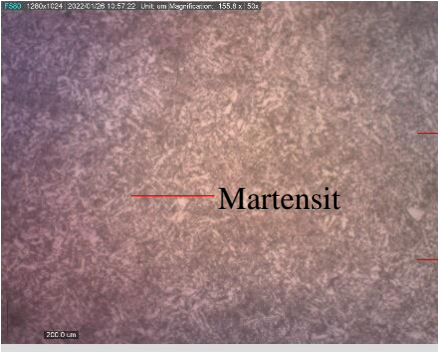

Pada pengamatan struktur mikro ini digunakan zat etsa nital 3%. Pengetsaan ini dilakukan setelah pada sampel dilakukan preparasi berupa pengamplasan dan pemolesan. Pengamatan struktur mikro dilakukan di bawah mikroskop optik dengan perbesaran hingga 200x. Sebelumnya sampel di etsa dengan menggunakan nital 3% untuk melihat butir ferit dan martensit dengan mekanisme korosi terkontrol pada butir.^[3] Informasi yang didapat melalui pengamatan struktur mikro

antara lain berupa fasa yang terbentuk beserta morfologi strukturnya. Pengamatan yang dilakukan disini adalah pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada daerah terdekat dengan tepi agar terlihat jelas fasa setelah proses karburisasinya. Foto perbesaran yang diambil disini adalah 200 X. Dari pengamatan struktur mikro ini, dapat dilihat hasil fasa struktur yang terkandung dari hasil karburisasi. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan struktur mikro.



Gambar 4. 3 Lokasi Pengambilan Struktur Mikro Spesimen Karburisasi

Tabel 4. 6 Tabel Hasil Pengamatan Optik

No	Perlakuan	Gambar Struktur Mikro dengan Perbesaran 200x
1	Tanpa Karburisasi	 <p>Perlit</p> <p>Ferit</p>
2	Karburisasi 700°C	 <p>Perlit</p> <p>Martensit</p> <p>Ferit</p>
3	Karburisasi 800°C	 <p>Perlit</p> <p>Martensit</p> <p>Ferit</p>
4	Karburisasi 900°C	 <p>Martensit</p> <p>Perlit</p> <p>Ferit</p>

Pada pengamatan struktur mikro spesimen baja AISI 4140 pada tabel 4.6, digunakan nital 3% sebagai zat etsa. Pada foto mikro menunjukkan fasa ferit, perlit, dan martensit. Fasa ferit ditunjukkan oleh bagian yang terang sedangkan fasa perlit ditunjukkan oleh bagian yang gelap. Secara umum, struktur mikro dari baja AISI 4140 yang telah diberikan perlakuan panas karburisasi memiliki fasa martensit dengan bentuk jarum-jarum halus di bagian permukaan hingga beberapa milimeter dibawahnya. Tampak bahwa fasa dominan yang terbentuk di permukaan adalah *lath martensit* yang terlihat seperti jarum-jarum dengan orientasi yang berbeda dan dengan persebaran acak.

Dari tabel 4.6 di atas dapat dilihat bahwa pada spesimen tanpa karburisasi terdapat fasa perlit, ferit, dan sedikit martensit. Fasa martensit dengan kontur jarum-jarum terbentuk setelah proses karburisasi dengan pendinginan cepat. Dapat dilihat pada gambar di atas semakin tinggi temperatur karburisasi maka fasa martensit yang terbentuk semakin banyak dengan persebaran yang acak. Fasa martensit tersebut yang mengakibatkan permukaan spesimen semakin keras, hasil tersebut sebanding dengan hasil uji kedalaman pengerasan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 7 Tabel Komparasi Persentase Fasa Spesimen Tanpa Perlakuan dan Variasi Karburisasi dengan Temperatur 700°C, 800°C, dan 900°C dengan Nilai Kekerasan

No.	PERLAKUAN	% Ferit	% Perlit	% Martensit	Nilai Kekerasan (HV) pada Kedalaman 15 μ m
1.	Tanpa Karburisasi	62,313	28,680	9,007	308
2.	Karburisasi 700 °C	41,182	36,152	22,666	373.5
3.	Karburisasi 800 °C	30,033	38,081	31,886	484,3
4.	Karburisasi 900 °C	18,797	40,194	41,009	555.2

Pada spesimen tanpa perlakuan karburisasi, dari software Image-J menunjukkan persentase fasa martensit adalah 9.007%, persentase fasa perlit adalah 28.680%, dan fasa ferit adalah 62.313%. Software Image-J menggunakan prinsip perbedaan warna dan bentuk yang terbentuk pada foto mikro spesimen untuk mendeteksi persentase fasa yang terbentuk. Gambar dari tabel 4.6 di atas

menunjukkan foto struktur mikro spesimen tanpa perlakuan karburisasi, terlihat bahwa struktur yang terbentuk pada spesimen ini adalah perlit (pada gambar berwarna hitam atau gelap) dan ferit (pada gambar berwarna terang) walau terdapat sedikit martensit (kontur jarum-jarum) yang terbentuk. Hal ini dikarenakan pada spesimen ini masih murni (*raw material*) tetapi terbentuknya martensit dikarenakan baja ini merupakan baja karbon sedang yang karbonnya berkisar 0,40% C. Oleh karena itulah terdapat unsur martensit pada spesimen ini walau pun tidak dominan namun berpengaruh pada kekerasan material.

Pada spesimen dengan perlakuan karburisasi 700°C, dari software Image-J menunjukkan persentase fasa martensit adalah 22.666%, persentase fasa perlit adalah 36.152%, dan fasa ferit adalah 41.182%. Dari gambar spesimen dengan perlakuan karburisasi 700°C pada tabel 4.6 di atas dapat dilihat bahwa fasa martensit (kontur jarum) sudah mulai terbentuk lebih banyak dibandingkan spesimen tanpa karburisasi. Persentase fasa martensit berpengaruh terhadap nilai kekerasan, semakin tinggi fasa martensit maka nilai kekerasan akan semakin tinggi.

Pada spesimen dengan perlakuan karburisasi 800°C, dari software Image-J menunjukkan persentase fasa martensit adalah 31.886%, persentase fasa perlit adalah 38.081%, dan fasa ferit adalah 30.033%. Dari gambar spesimen dengan perlakuan karburisasi 800°C pada tabel 4.6 di atas dapat dilihat bahwa fasa martensit (kontur jarum) terbentuk lebih banyak dibandingkan spesimen dengan perlakuan karburisasi 700°C. Persentase fasa martensit berpengaruh terhadap nilai kekerasan, semakin tinggi fasa martensit maka nilai kekerasan akan semakin tinggi.

Pada spesimen dengan perlakuan karburisasi 900°C, dari software Image-J menunjukkan persentase fasa martensit adalah 41.009%, persentase fasa perlit adalah 40.194%, dan fasa ferit adalah 18.797%. Dari gambar spesimen dengan perlakuan karburisasi 900°C pada tabel 4.6 di atas dapat dilihat bahwa fasa martensit (kontur jarum) terbentuk sangat banyak dan mendominasi fasa yang terbentuk pada spesimen. Persentase fasa martensit berpengaruh terhadap nilai kekerasan, semakin tinggi fasa martensit maka nilai kekerasan akan semakin tinggi. Pada variasi temperatur 900°C, fasa martensit yang terbentuk paling banyak dan merata. Kehadiran fasa martensit tersebut yang membuat nilai kekerasan permukaan spesimen semakin tinggi yang ditunjukkan pada tabel 4.7.

4.1.3 Data Hasil Uji SEM-EDX/EDS

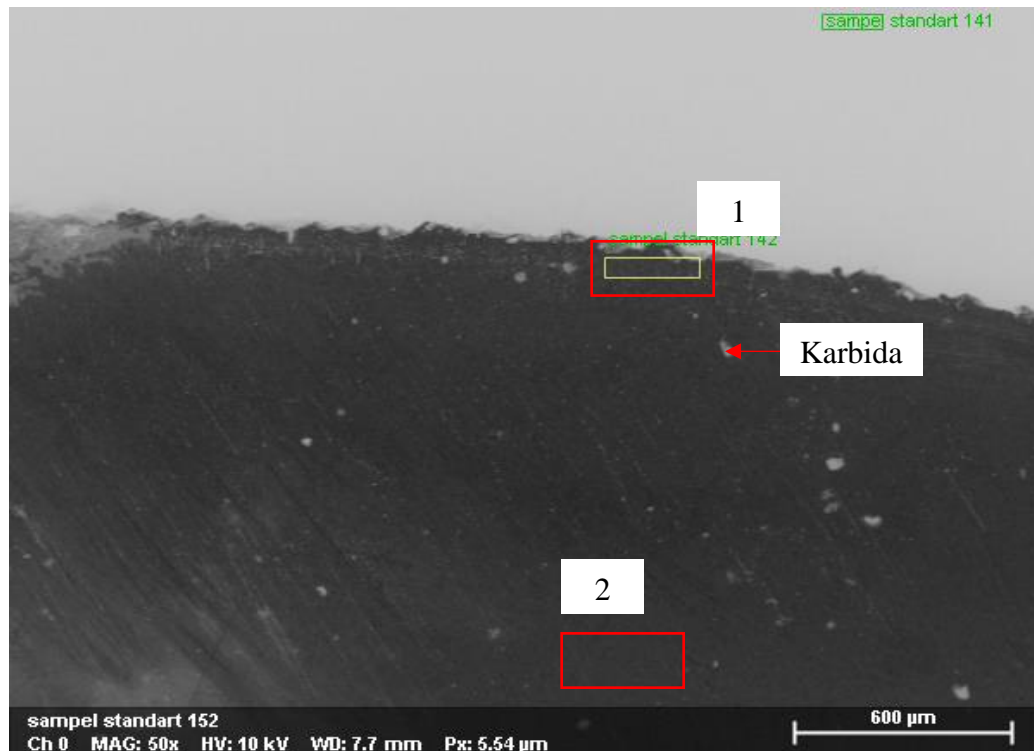
Pengujian ini bertujuan untuk menganalisa unsur-unsur atau karakterisasi kimia dari sampel yang telah diberikan perlakuan karburisasi pada baja AISI 4140 setelah proses karburisasi dengan temperatur 700°C, 800°C, dan 900°C dengan penahanan 3 jam dan pendinginan menggunakan media coolant radiator.



Gambar 4. 4 Sampel yang diambil pada perlakuan karburisasi 700°C dengan waktu penahanan selama 3 jam.

Gambar 4.4 merupakan gambar SEM spesimen dengan proses karburisasi 700°C dengan perbesaran 50x. Dalam gambar di atas dilakukan dua kali penembakan yaitu dititik 1 dan titik 2 untuk mengetahui komposisi yang ada dalam baja AISI 4140. Didapatkan jumlah kandungan karbon sebesar 8.13% dan memiliki atom sebesar 26.14% pada titik 1, dan kandungan karbon sebesar 7.29% serta atom sebesar 22.2% pada titik 2. Dari gambar foto SEM bagian tepi untuk variabel karburisasi 700°C menunjukkan adanya pulau-pulau berwarna putih. Pulau-pulau tersebut merupakan karbida yang terbentuk melalui perlakuan panas karburisasi. Karbida tersebut merupakan karbida tipe $M_{23}C_6$ yang terbentuk melalui ikatan antara unsur pembentuk karbida (*carbide former*) yang berada di logam dasar yaitu Cr dan Mo dengan Carbon yang masuk ke permukaan baja melalui proses difusi.^[21] Dengan

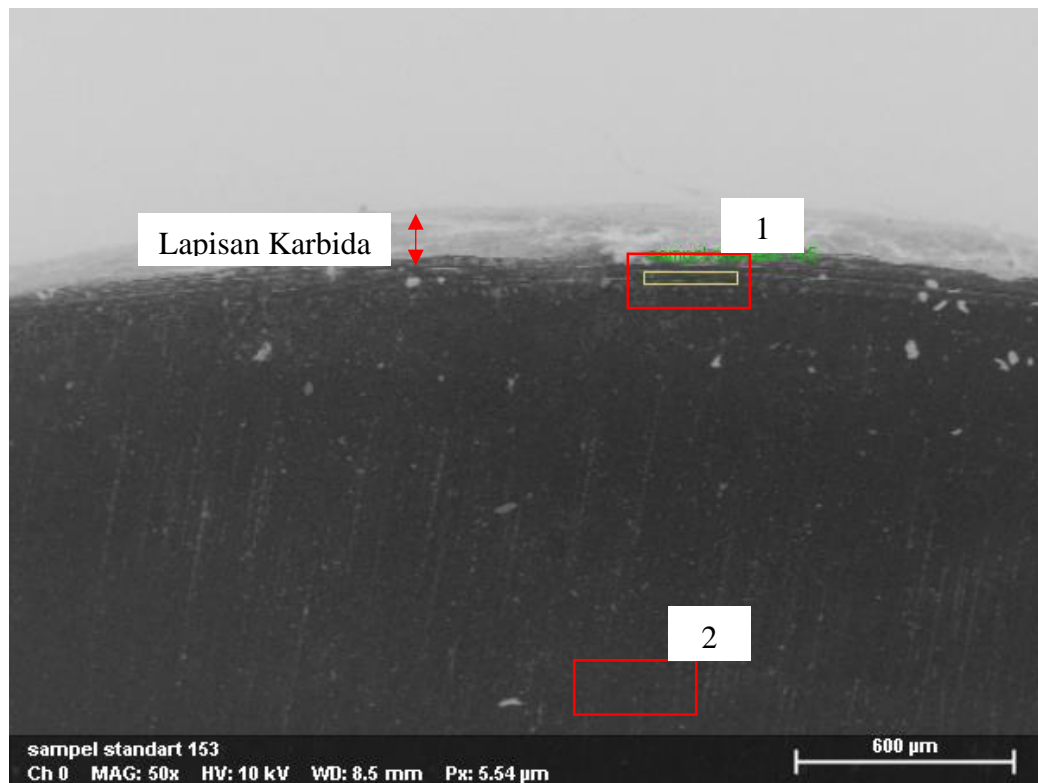
keberadaan karbida ini, kekerasan meningkat dengan tajam karena terjadi mekanisme pengerasan yaitu *precipitation strengthening* yang berfungsi sebagai penghalang bagi pergerakan dislokasi sehingga kekerasan meningkat. Karbida yang terbentuk sangat tipis sehingga nilai kekerasan tidak naik secara signifikan.



Gambar 4. 5 Sampel yang diambil pada perlakuan karburasi 800°C dengan waktu penahanan selama 3 jam

Gambar 4.5 merupakan gambar SEM spesimen dengan proses karburisasi 800°C dengan perbesaran 50x. Dalam gambar di atas dilakukan dua kali penembakan yaitu titik 1 dan titik 2 untuk mengetahui komposisi yang ada dalam baja AISI 4140. Didapatkan jumlah kandungan karbon sebesar 10.52% dan memiliki atom sebesar 29.41% pada titik 1, dan kandungan karbon sebesar 8.22% serta atom sebesar 23.77% pada titik 2. Dari gambar foto SEM bagian tepi untuk variabel karburisasi 700°C menunjukkan adanya pulau-pulau berwarna putih. Pulau-pulau tersebut merupakan karbida yang terbentuk melalui perlakuan panas karburisasi. Karbida tersebut merupakan karbida tipe $M_{23}C_6$ yang terbentuk melalui ikatan antara unsur pembentuk karbida (*carbide former*) yang berada di logam dasar yaitu Cr dan Mo dengan Carbon yang masuk ke permukaan baja melalui proses difusi.^[21] Dengan keberadaan karbida ini, kekerasan meningkat dengan tajam karena terjadi mekanisme pengerasan yaitu *precipitation strengthening* yang berfungsi sebagai

penghalang bagi pergerakan dislokasi sehingga kekerasan meningkat. Karbida yang terbentuk lebih banyak daripada spesimen dengan perlakuan karburisasi 700°C namun perbedaannya tidak terlalu signifikan.



Gambar 4. 6 Sampel yang diambil pada perlakuan karburisasi 900°C dengan waktu penahanan selama 3 jam

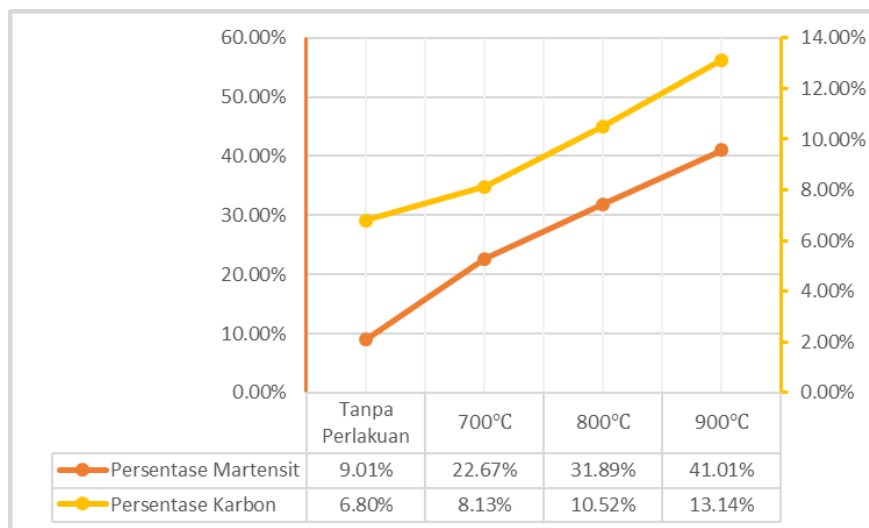
Gambar 4.6 merupakan gambar SEM spesimen dengan proses karburisasi 900°C dengan perbesaran 50x. Didapatkan jumlah kandungan karbon sebesar 13.14% dan memiliki atom sebesar 34.14% pada titik 1, dan kandungan karbon sebesar 7.29% serta massa atom sebesar 6.3%. Komposisi karbon chromium (Cr) meningkat dari spesimen dengan perlakuan karburisasi 800°C sesuai dengan Tabel 4.8. Hal ini menyebabkan lapisan karbida yang terbentuk semakin banyak dan merata pada permukaan. Dengan keberadaan lapisan karbida ini, kekerasan meningkat dengan tajam karena terjadi mekanisme pengerasan yaitu *precipitation strengthening* yang berfungsi sebagai penghalang bagi pergerakan dislokasi sehingga kekerasan meningkat.

Dapat disimpulkan bahwa setelah dilakukan proses karburisasi pada variasi temperatur 700°C, 800°C, dan 900°C dengan metode *surface hardening* membuat kadar karbon bertambah pada lapisan luar namun pada titik 2 atau area dalam terjadi penurunan kadar karbon dari titik 1. Bertambahnya jumlah karbon dilapisan luar ini

menunjukkan bahwa terbentuknya sebuah lapisan karbida pada baja AISI 4140 akibat perlakuan karburisasi dengan metode *surface hardening*. Pada perlakuan karburisasi pada temperatur 900°C mengalami kenaikan yang cukup signifikan dibanding dengan perlakuan karburisasi temperature 800°C dan 700°C sehingga lapisan karbida yang terbentuk pada permukaan cukup jelas yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.

Tabel 4. 8 Komposisi Kimia Tiap Variasi Perlakuan Karburisasi

Unsur	Perlakuan			
	Tanpa Perlakuan	700°C	800°C	900°C
Fe	98.28 %	91.46 %	104.12 %	101 %
C	6.80%	8.13 %	10.52 %	13.14 %
Cr	-	1.04 %	1.24 %	1.65 %
Al	-	0.67 %	0.39 %	0.84 %
O	-	2.76	2.37%	2.94 %
F	-	1.09	10.85 %	0.97 %
Ta	-	-	0.97 %	0.74 %



Gambar 4. 7 Grafik Persentase Karbon Pada Tiap Permukaan Spesimen Uji dan Persentase Struktur Martensit Pada Tiap Spesimen Uji

Dari grafik 4.7 di atas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur karburisasi maka akan mengalami kenaikan kandungan karbon, sehingga membentuk lapisan karbida yang membuat material semakin keras. Nilai kekerasan juga dipengaruhi oleh persentase struktur martensit, dari grafik 4.7 dapat

disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur karburisasi maka persentase struktur martensit yang terbentuk semakin banyak, sehingga semakin tinggi temperatur karburisasi menyebabkan permukaan material semakin keras. Kedalaman pengerasan pada spesimen uji dapat dilihat pada grafik 4.2, dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur karburisasi maka kedalaman pengerasan akan semakin dalam.