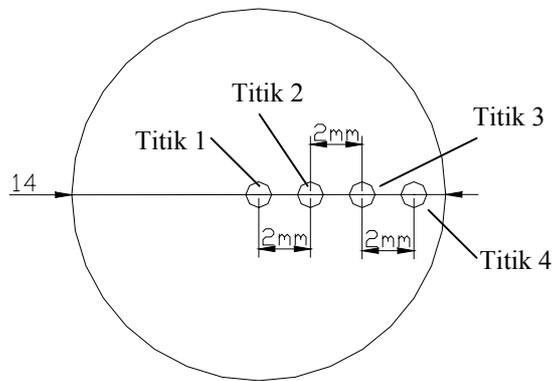


4. DATA HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1. Data Hasil Pengujian

4.1.1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan untuk masing-masing kondisi menggunakan tiga buah spesimen (A,B,C). Setiap spesimen diuji kekerasan pada empat titik indentasi yaitu titik indentasi 1 dipusat lingkaran spesimen, titik indentasi 2 di 2 mm dari pusat lingkaran spesimen, titik indentasi 3 di 4mm dari pusat lingkaran spesimen dan titik indentasi 4 di 6 mm dari pusat lingkaran spesimen.



Gambar 4.1. Titik-titik indentasi pada pengujian kekerasan

4.1.1.1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell Baja AISI 1045

Tabel 4.1. Spesimen induk

Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi			
	1	2	3	4
A	14,5	14	14,2	14,5
B	14,4	14,2	15	14,5
C	14,2	14,5	14,4	14

Tabel 4.2. Spesimen Hasil Proses Hardening

Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi			
	1	2	3	4
A	51,7	52,5	52	53
B	52,4	52,2	53,2	52,8
C	51,8	52,4	52,8	52,6

Tabel 4.3. Spesimen Hasil Proses Tempering Dengan Temperatur 200°C

Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi			
	1	2	3	4
A	47	48,5	48	49
B	48,2	47,8	48,4	48,6
C	47,8	48,4	48,2	48

Tabel 4.4. Spesimen Hasil Proses Tempering Dengan Temperatur 400°C

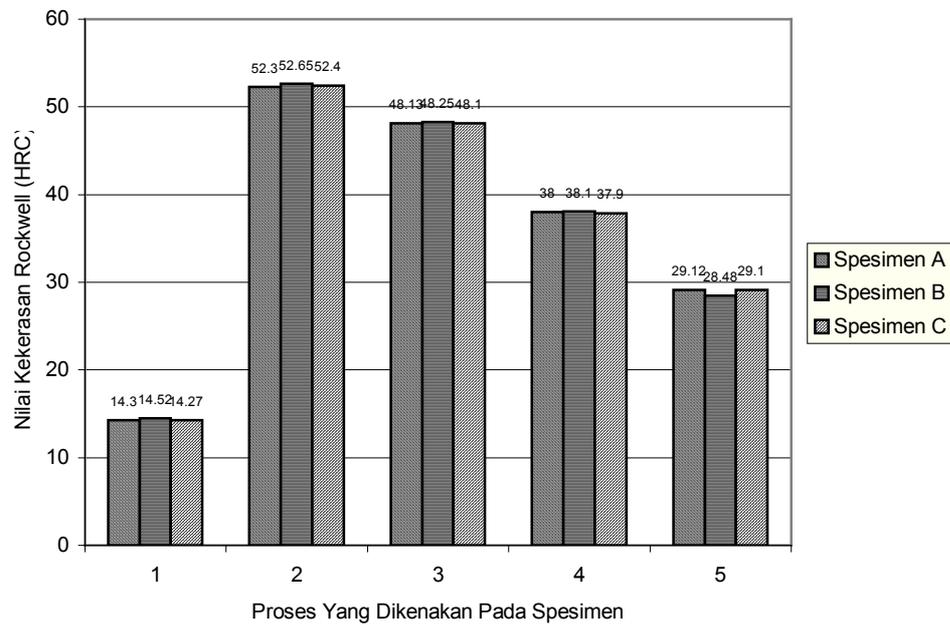
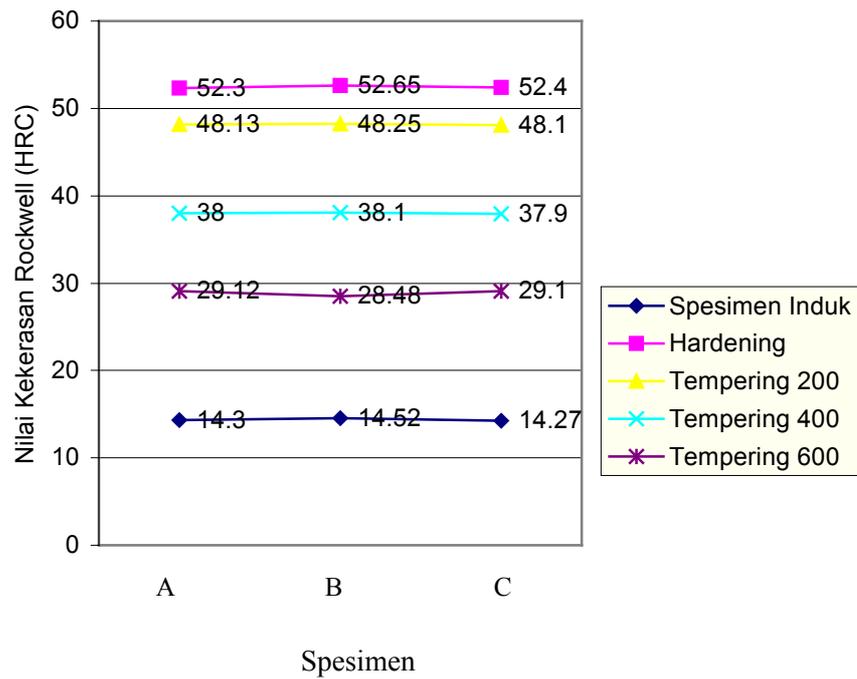
Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi			
	1	2	3	4
A	37,5	38	38,5	38
B	38,2	37,8	38	38,4
C	38	38,2	37,6	37,8

Tabel 4.5. Spesimen Hasil Proses Tempering Dengan Temperatur 600°C

Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi			
	1	2	3	4
A	28,5	28,8	30	29,2
B	28,8	27,6	28,5	29
C	29	28,6	28,8	30

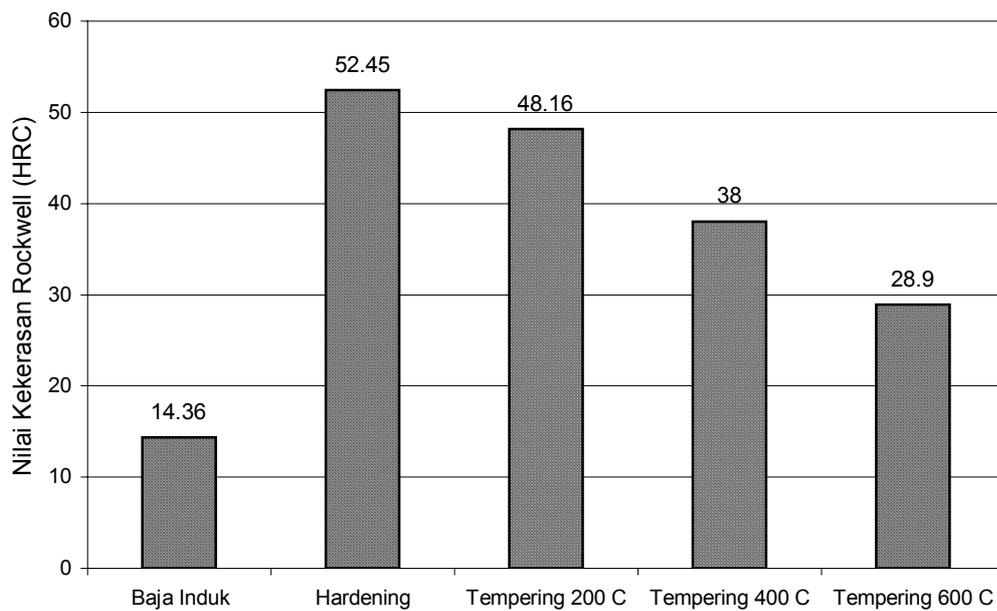
Tabel 4.6. Perbandingan Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 1045

Perlakuan	Spesimen	Nilai kekerasan Rocwell (HRC) pada tiap titik indentasi				Kekerasan rata-rata (HRC)	Total kekerasan rata-rata (HRC)
		1	2	3	4		
Baja Induk	A	14,5	14	14,2	14,5	14,3	14,36
	B	14,4	14,2	15	14,5	14,52	
	C	14,2	14,5	14,4	14	14,27	
Hardening Temp : 850°C Holding : 30 mnt	A	51,7	52,5	52	53	52,3	52,45
	B	52,4	52,2	53,2	52,8	52,65	
	C	51,8	52,4	52,8	52,6	52,4	
Tempering Temp : 200°C Holding : 60 mnt	A	47	48,5	48	49	48,13	48,16
	B	48,2	47,8	48,4	48,6	48,25	
	C	47,8	48,4	48,2	48	48,1	
Tempering Temp : 400°C Holding : 60 mnt	A	37,5	38	38,5	38	38	38
	B	38,2	37,8	38	38,4	38,1	
	C	38	38,2	37,6	37,8	37,9	
Tempering Temp : 600°C Holding : 60 mnt	A	28,5	28,8	30	29,2	29,12	28,9
	B	28,8	27,6	28,5	29	28,48	
	C	29	28,6	28,8	30	29,1	



1. Spesimen Induk
2. Spesimen Hardening
3. Spesimen Tempering 200°C
4. Spesimen Tempering 400°C
5. Spesimen Tempering 600°C

Gambar 4.2. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Baja AISI 1045 Pada Semua Kondisi



Gambar 4.3. Grafik Nilai Kekerasan Rata-rata Baja AISI 1045 Pada Semua Kondisi

4.1.1.2. Data Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell Baja AISI 4140

Tabel 4.7. Spesimen Induk

Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi			
	1	2	3	4
A	29	29,2	28,9	29
B	28,7	29	29,1	28,8
C	29,2	29,1	28,9	29

Tabel 4.8. Spesimen Hasil Proses Hardening

Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi			
	1	2	3	4
A	55,8	56	56,5	56,7
B	55,4	55,8	56,1	56,2
C	55,8	55,8	56	56,1

Tabel 4.9. Spesimen Hasil Proses Tempering Dengan Temperatur 200°C

Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi			
	1	2	3	4
A	51,2	51,4	51,5	51,8
B	51,3	51,4	51,6	51,6
C	51	51,5	51,5	51,8

Tabel 4.10. Spesimen Hasil Proses Tempering Dengan Temperatur 400°C

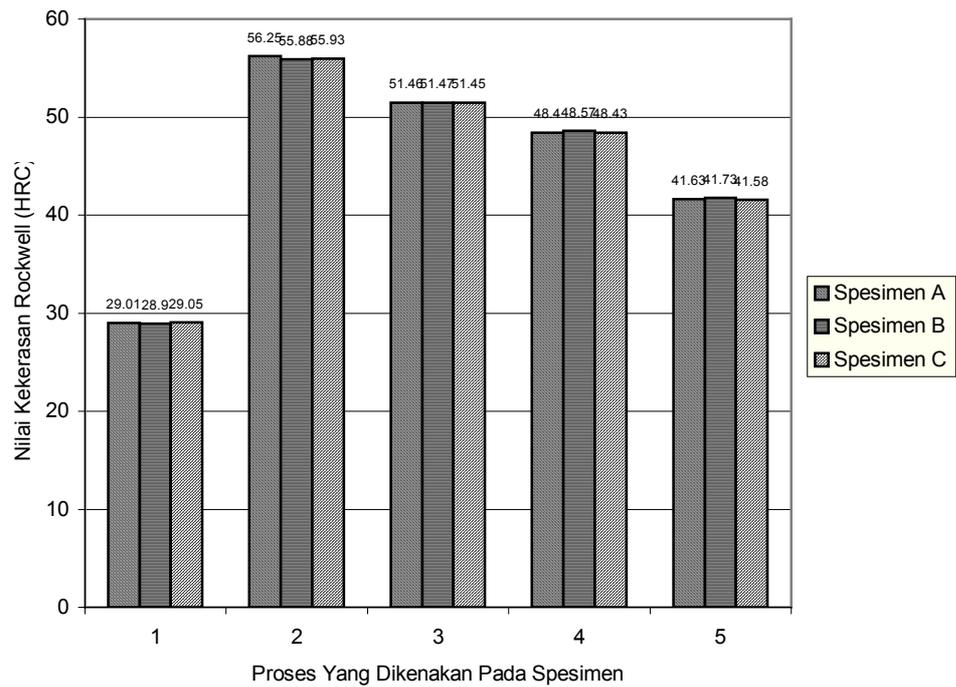
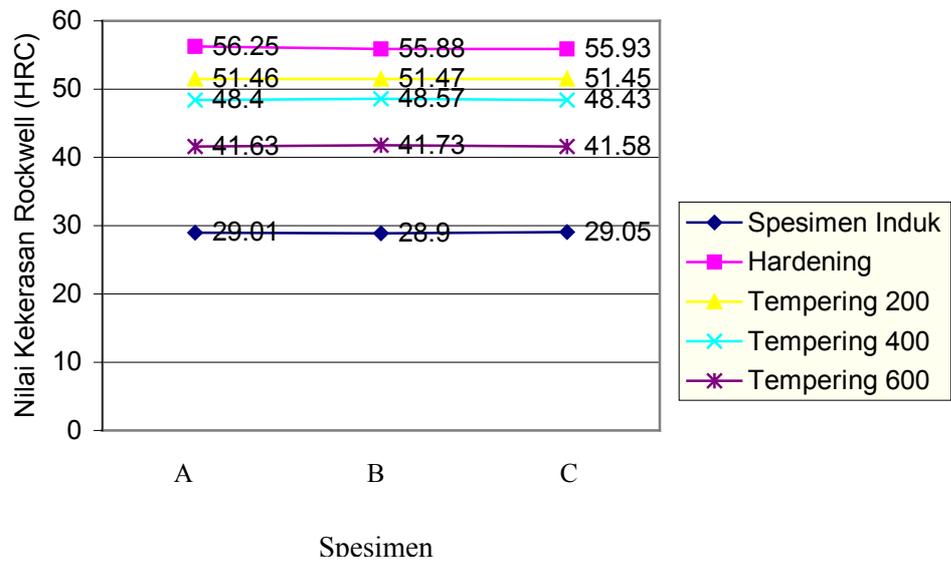
Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi			
	1	2	3	4
A	48	48,5	48,5	48,6
B	48,2	48,5	48,8	48,8
C	48,1	48,3	48,6	48,7

Tabel 4.11. Spesimen Hasil Proses Tempering Dengan Temperatur 600°C

Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi			
	1	2	3	4
A	41,2	41,6	41,7	42
B	41	41,8	42	42,1
C	41,1	41,3	41,9	42

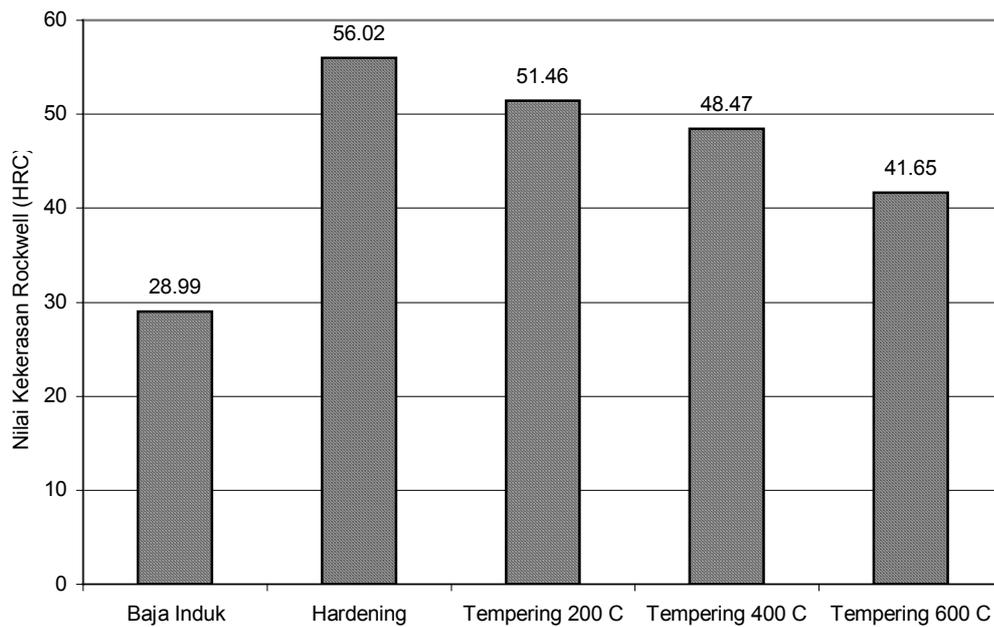
Tabel 4.12. Perbandingan Hasil Uji Kekerasan Baja AISI 4140

Perlakuan	Spesimen	Nilai kekerasan Rockwell (HRC) pada tiap titik indentasi				Kekerasan rata-rata (HRC)	Total kekerasan rata-rata (HRC)
		1	2	3	4		
Baja Induk	A	29	29,2	28,9	29	29,01	28,99
	B	28,7	29	29,1	28,8	28,90	
	C	29,2	29,1	28,9	29	29,05	
Hardening Temp : 850°C Holding : 30 mnt	A	55,8	56	56,5	56,7	56,25	56,02
	B	55,4	55,8	56,1	56,2	55,88	
	C	55,8	55,8	56	56,1	55,93	
Tempering Temp : 200°C Holding : 60 mnt	A	51,2	51,4	51,5	51,8	51,46	51,46
	B	51,3	51,4	51,6	51,6	51,47	
	C	51	51,5	51,5	51,8	51,45	
Tempering Temp : 400°C Holding : 60 mnt	A	48	48,5	48,5	48,6	48,4	48,47
	B	48,2	48,5	48,8	48,8	48,57	
	C	48,1	48,3	48,6	48,7	48,43	
Tempering Temp : 600°C Holding : 60 mnt	A	41,2	41,6	41,7	42	41,63	41,65
	B	41	41,8	42	42,1	41,73	
	C	41,1	41,3	41,9	42	41,58	



1. Spesimen Induk
2. Spesimen Hardening
3. Spesimen Tempering 200°C
4. Spesimen Tempering 400°C
5. Spesimen Tempering 600°C

Gambar 4.4. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Baja AISI 4140 Pada Semua Kondisi



Gambar 4.5. Grafik Nilai Kekerasan Rata-rata Baja AISI 4140 Pada Semua Kondisi

4.1.2. Data Hasil Pengujian Tarik

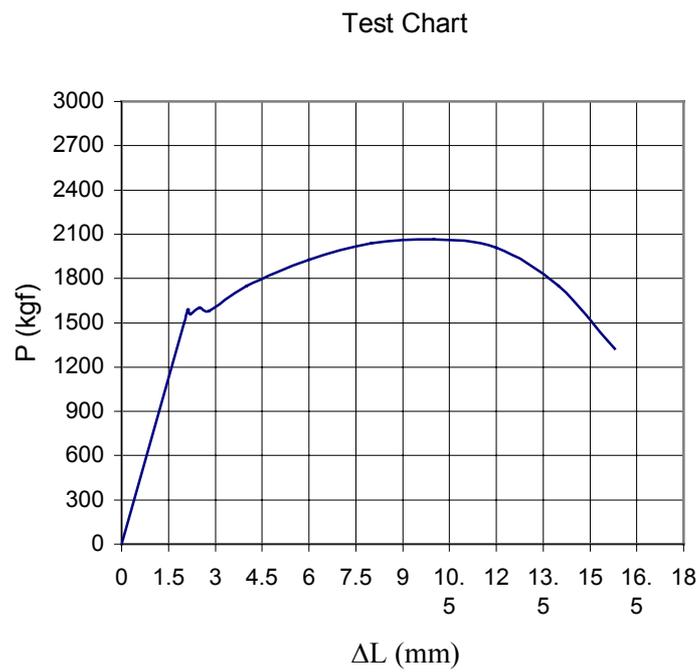
4.1.2.1. Data Hasil Pengujian Tarik Baja AISI 1045

Pengujian tarik dilakukan untuk semua kondisi spesimen uji, baik spesimen induk, spesimen yang sudah dihardening serta spesimen hasil tempering dengan tiga variasi temperatur. Hasil dari pengujian tarik ini adalah diketahuinya kekuatan tarik (Ultimate Tensile Strength – UTS) dan keuletan (elongation). Data dari hasil pengujian tarik dapat dilihat pada tabel 4.13.

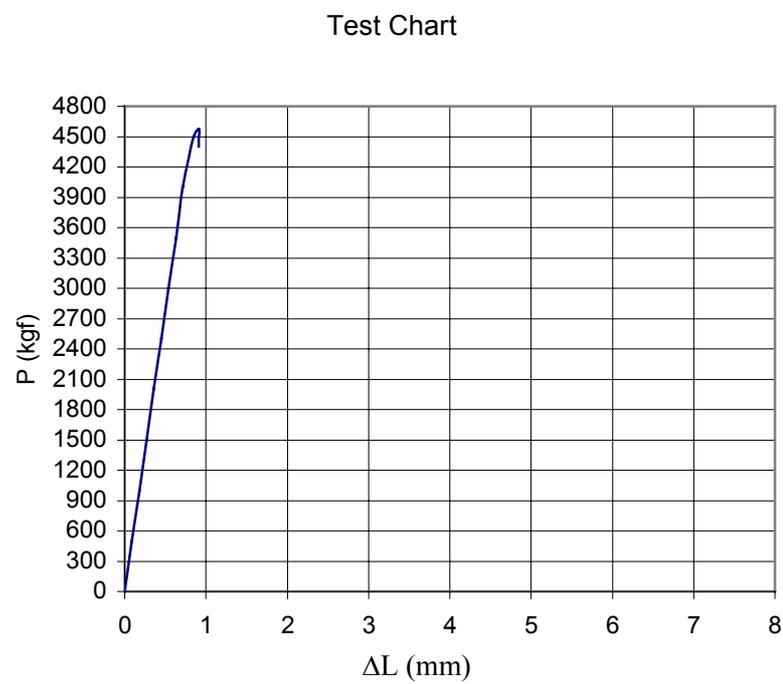
Tabel 4.13. Data Hasil Pengujian Tarik Baja AISI 1045

Perlakuan	Beban Maximum P (kgf)	Kekuatan Tarik σ (kgf/mm ²)	Elongation ϵ (%)
Baja Induk	2063.04	41.04	26.30
Hardening Temp : 850°C Holding : 30 mnt	4574,14	91,00	1.52
Tempering Temp : 200°C Holding : 60 mnt	3676,19	73,14	8.67
Tempering Temp : 400°C Holding 60 mnt	2901,47	57,72	16.25
Tempering Temp : 600°C Holding : 60 mnt	2274.77	45.26	19.33

Gambar diagram P- Δ L hasil uji tarik baja AISI 1045 untuk spesimen induk, spesimen hasil proses hardening, spesimen hasil proses tempering dengan temperatur 200°C, 400°C serta 600°C dapat dilihat pada gambar 4.6 sampai dengan 4.10.

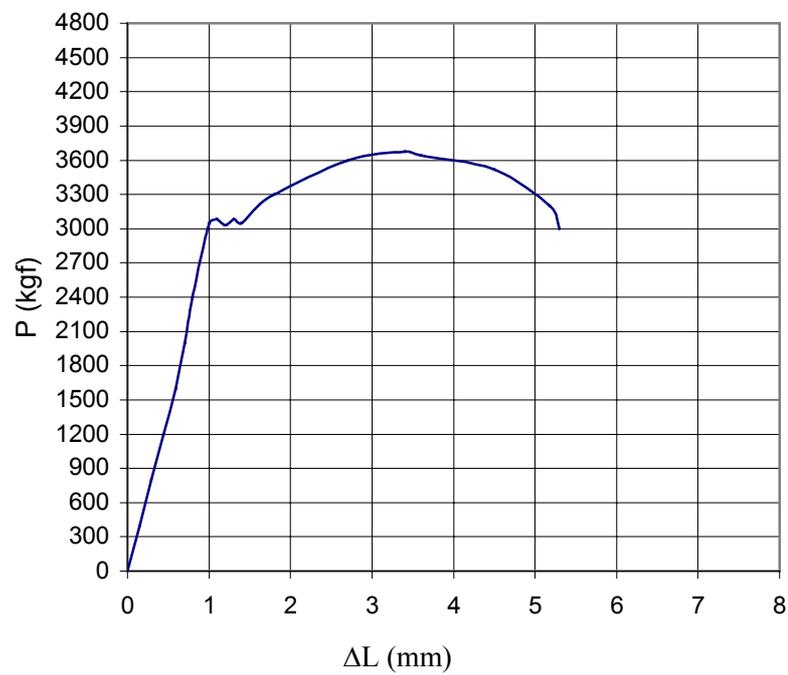


Gambar 4.6. Diagram P - ΔL baja AISI 1045 logam induk.



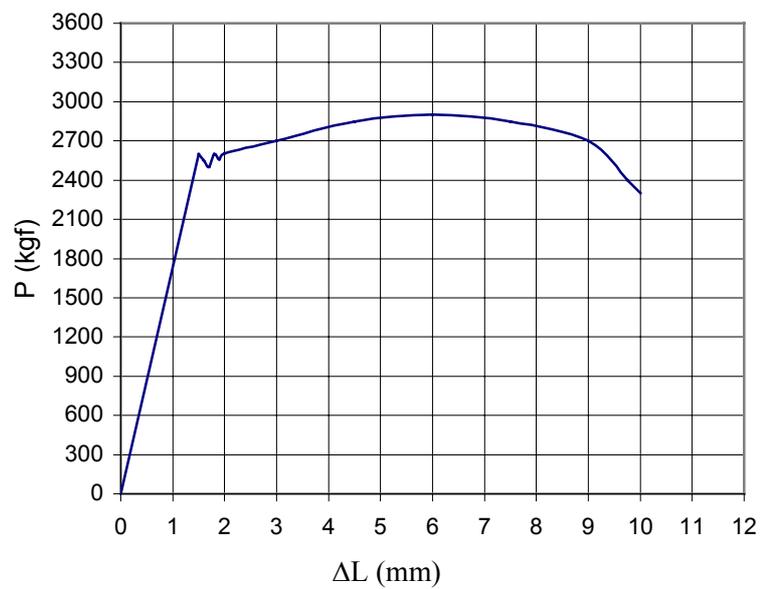
Gambar 4.7. Diagram P- ΔL baja AISI 1045 proses hardening

Test Chart

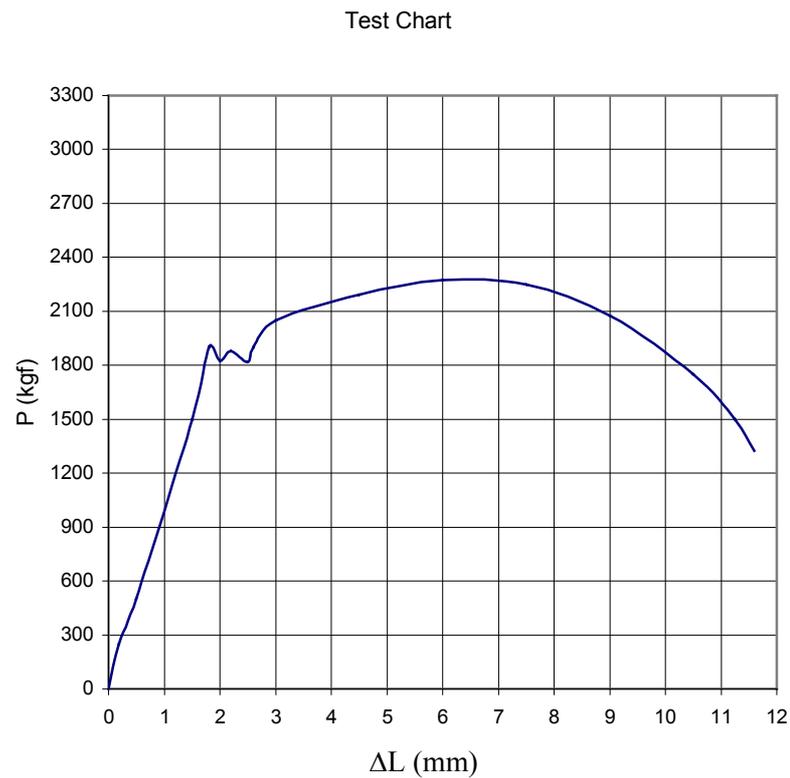


Gambar 4.8. Diagram P-ΔL baja AISI 1045, tempering 200°C

Test Chart



Gambar 4.9. Diagram P-ΔL baja AISI 1045, tempering 400°C



Gambar 4.10. Diagram P- Δ L baja AISI 1045, tempering 600°C.

4.1.2.2. Data Hasil Pengujian Tarik Baja AISI 4140

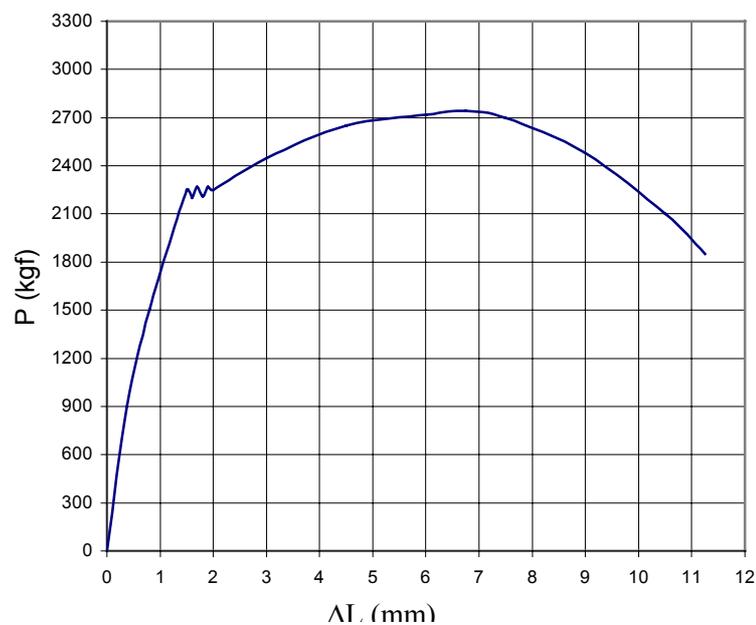
Pengujian tarik dilakukan untuk semua kondisi spesimen uji. baik spesimen induk, spesimen yang sudah dihardening serta spesimen hasil tempering dengan tiga variasi temperatur. Hasil dari pengujian tarik ini adalah diketahuinya kekuatan tarik (Ultimate Tensile Strength – UTS) dan keuletan (elongation). Data dari hasil pengujian tarik dapat dilihat pada tabel 4.14.

Gambar diagram P- Δ L hasil pengujian tarik baja AISI 4140 untuk spesimen induk, spesimen hasil proses hardening dan spesimen hasil proses tempering dengan temperatur 200°C, 400°C serta 600°C dapat dilihat pada gambar 4.11 sampai dengan 4.15.

Tabel 4.14. Data Hasil Pengujian Tarik Baja AISI 4140

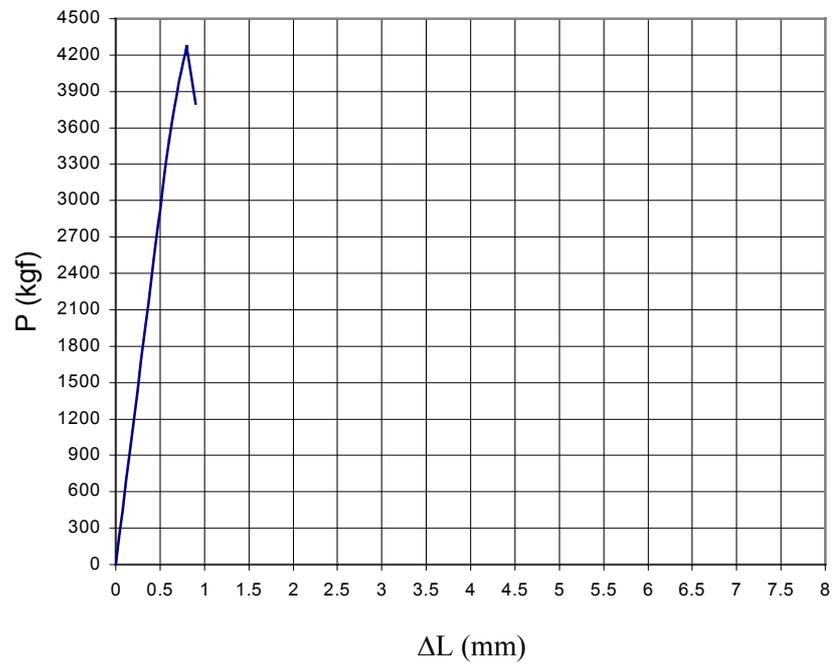
Perlakuan	Beban Maximum P (kgf)	Kekuatan Tarik σ (kgf/mm ²)	Elongation ϵ (%)
Baja induk	2742,26	54,56	18.75
Hardening Temp : 850°C Holding : 30 mnt	4472.86	88.98	1.33
Tempering Temp : 200°C Holding : 60 mnt	3129.32	62.24	7,19
Tempering Temp : 400°C Holding : 60 mnt	2950.85	58.73	13.63
Tempering Temp : 600°C Holding : 60 mnt	2854.14	56.81	15.28

Test Chart

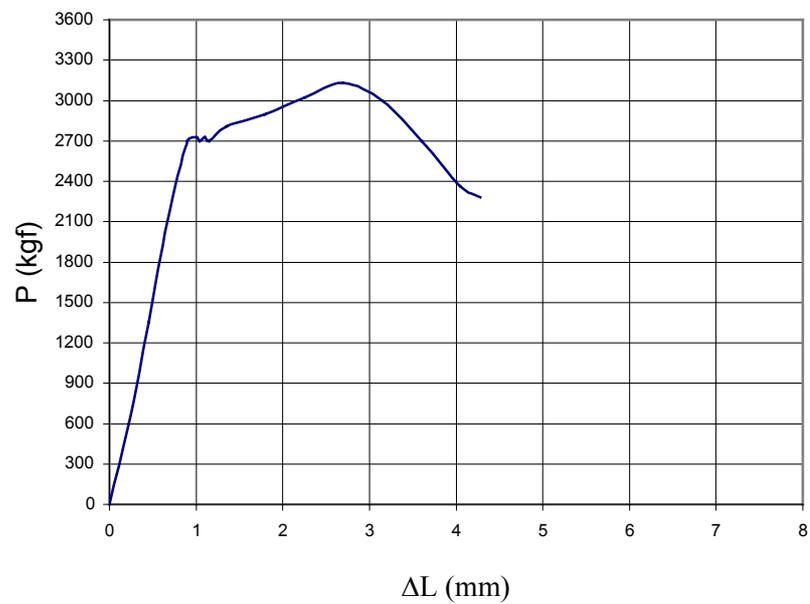


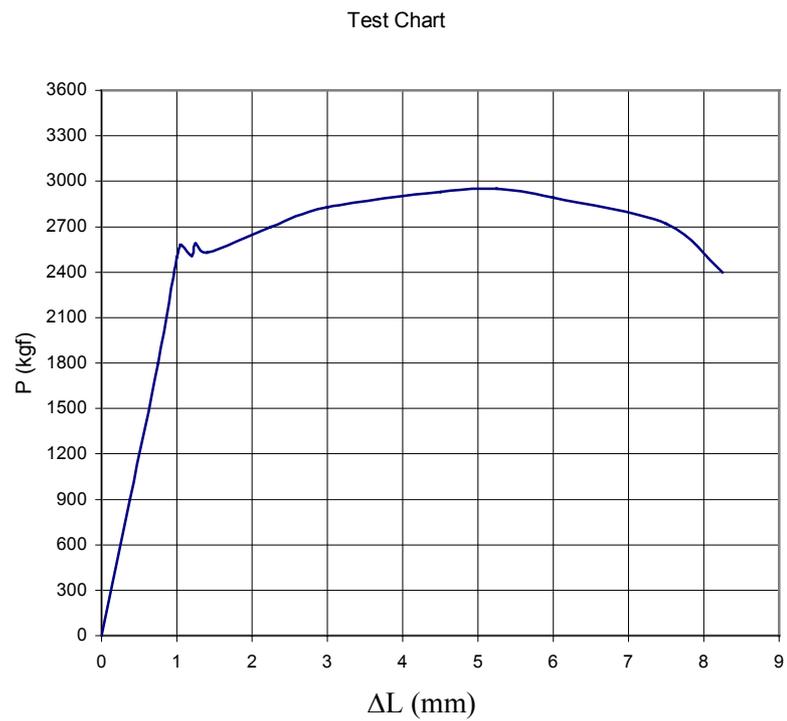
Gambar 4.11. Diagram P - ΔL baja AISI 4140 logam induk.

Test Chart

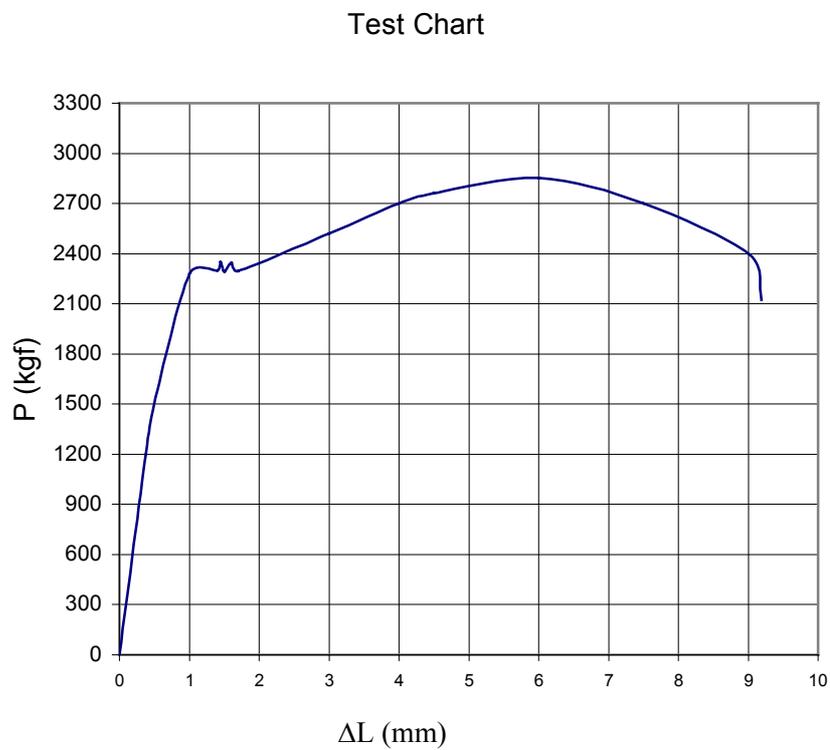
Gambar 4.12. Diagram P- ΔL baja AISI 4140 proses hardening

Test Chart

Gambar 4.13. Diagram P- ΔL baja AISI 4140, tempering 200°C



Gambar 4.14. Diagram P- ΔL baja AISI 4140, tempering 400°C



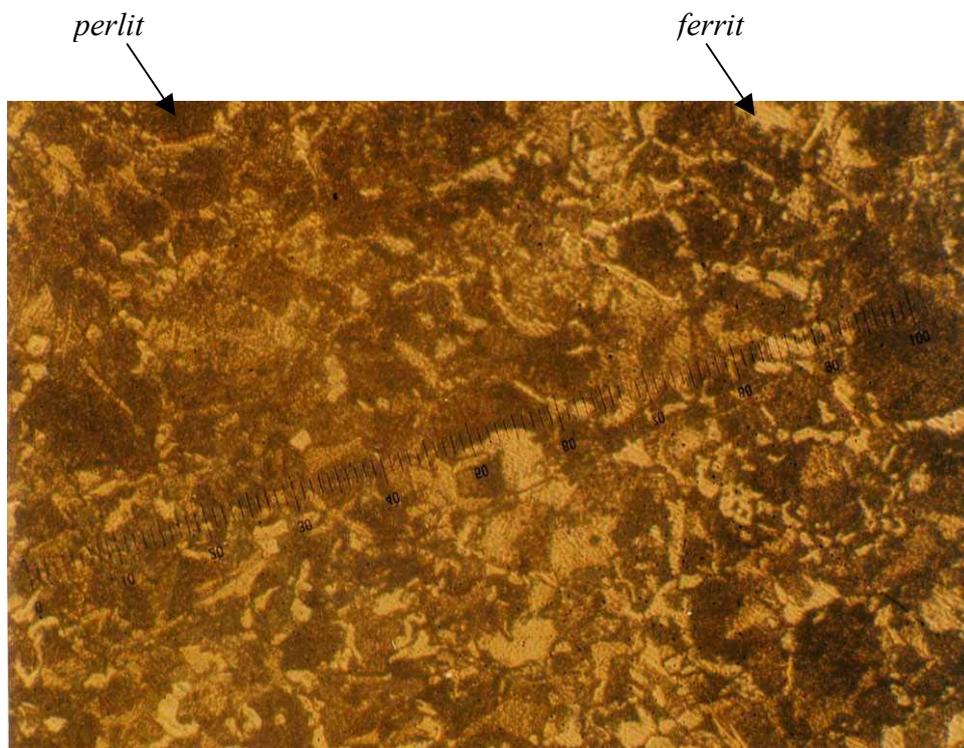
Gambar 4.15. Diagram P- ΔL baja AISI 4140, tempering 600°C.

4.1.3. Data Hasil Pengujian Metalografi

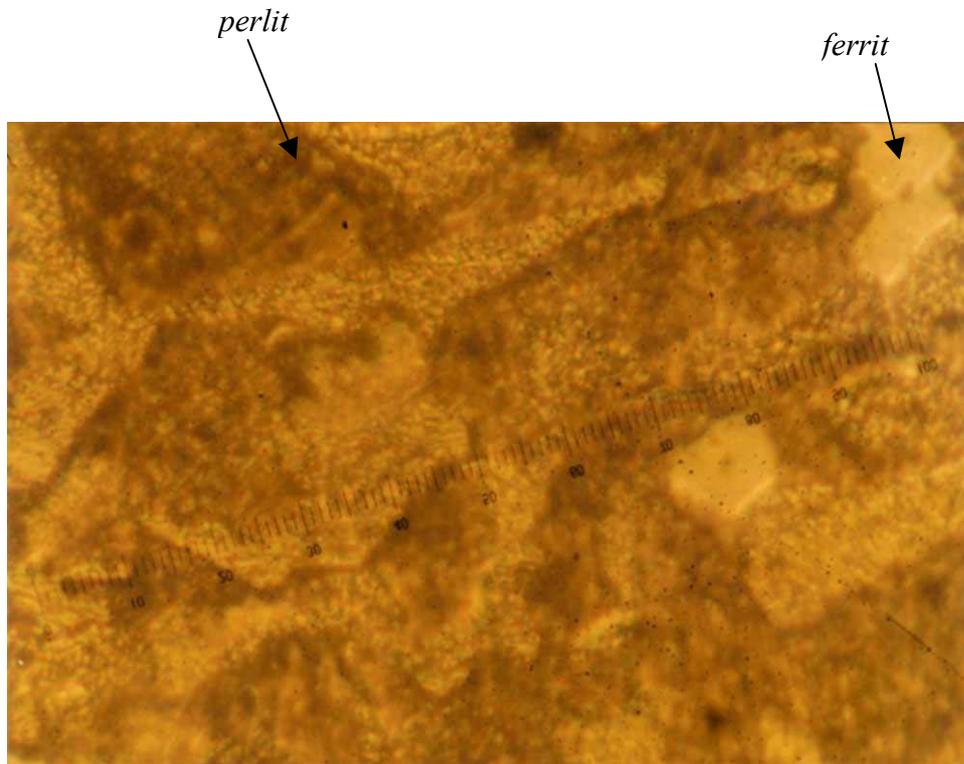
4.1.3.1. Foto Struktur Mikro Baja AISI 1045

Hasil foto struktur mikro baja AISI 1045 untuk masing-masing spesimen yaitu spesimen induk, spesimen hasil proses *hardening*, serta spesimen hasil proses *tempering* dengan temperatur 200°C, temperatur 400°C dan temperatur 600°C dapat dilihat pada gambar 4.16 sampai dengan 4.25. Setiap kondisi difoto dengan menggunakan dua kali pembesaran yaitu pembesaran 200X dan pembesaran 1000X. Pembesaran ini digunakan dengan tujuan agar pada saat pengamatan struktur mikro, struktur mikro yang diamati menjadi lebih besar dan lebih jelas. Pengaturan fokus pada mikroskop dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan gambar yang lebih bagus dan tidak buram.

A. Foto struktur mikro baja AISI 1045 spesimen induk.



Gambar 4.16. Foto struktur mikro baja AISI 1045 spesimen induk pembesaran 200X

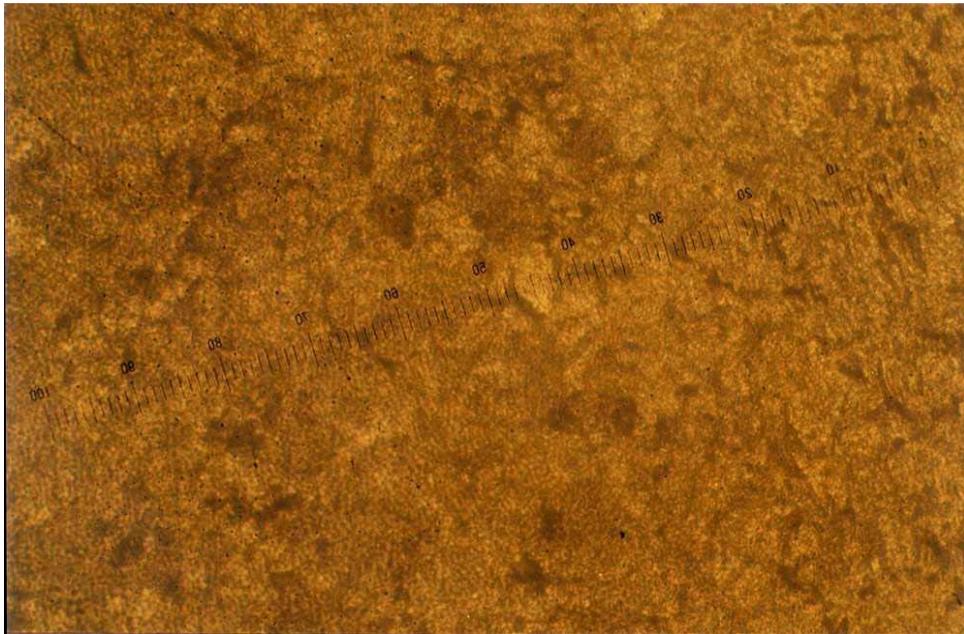


Gambar 4.17. Foto struktur mikro baja AISI 1045 spesimen induk pembesaran 1000X

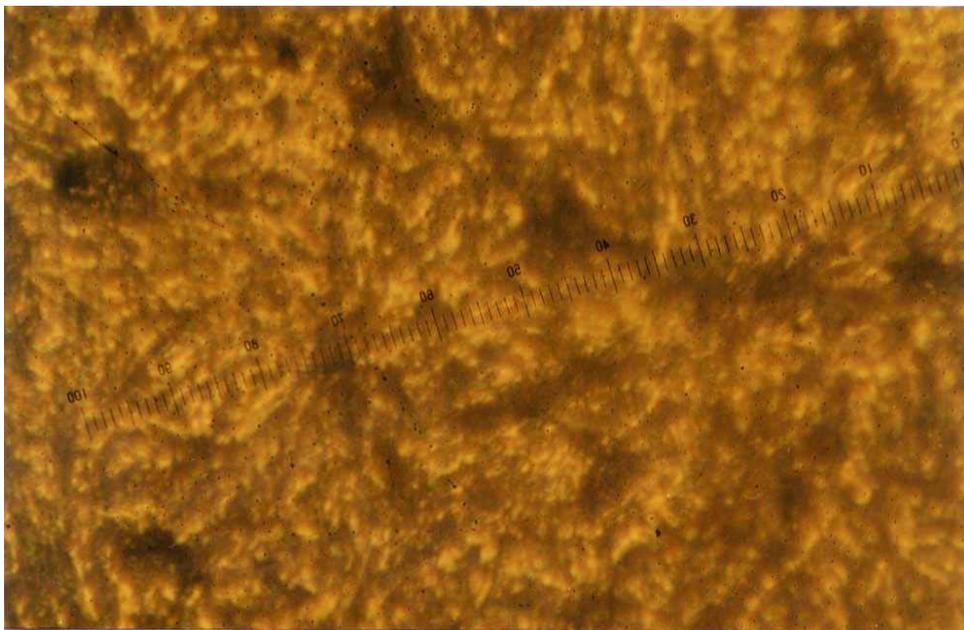
Keterangan gambar struktur mikro baja AISI 1045 spesimen induk:

- Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik Examet Union 82023.
- Etsa nital 2%, HNO_3 dan methanol.
- Komposisi HNO_3 = 5 ml.
- Komposisi methanol = 100ml.
- Waktu etsa 45 detik.
- Pembesaran 200X dan 1000X.
- Pengambilan foto dengan menggunakan kamera Nikon FX-35 W.
- Menggunakan film Fuji asa 200.
- Bagian yang berwarna terang adalah *ferrit*.
- Bagian yang berwarna gelap adalah *perlit*.

B. Foto struktur mikro baja AISI 1045, proses hardening.



Gambar 4.18. Foto struktur mikro baja AISI 1045 proses *hardening* pembesaran 200X



Gambar 4.19. Foto struktur mikro baja AISI 1045 proses *hardening* pembesaran 1000X

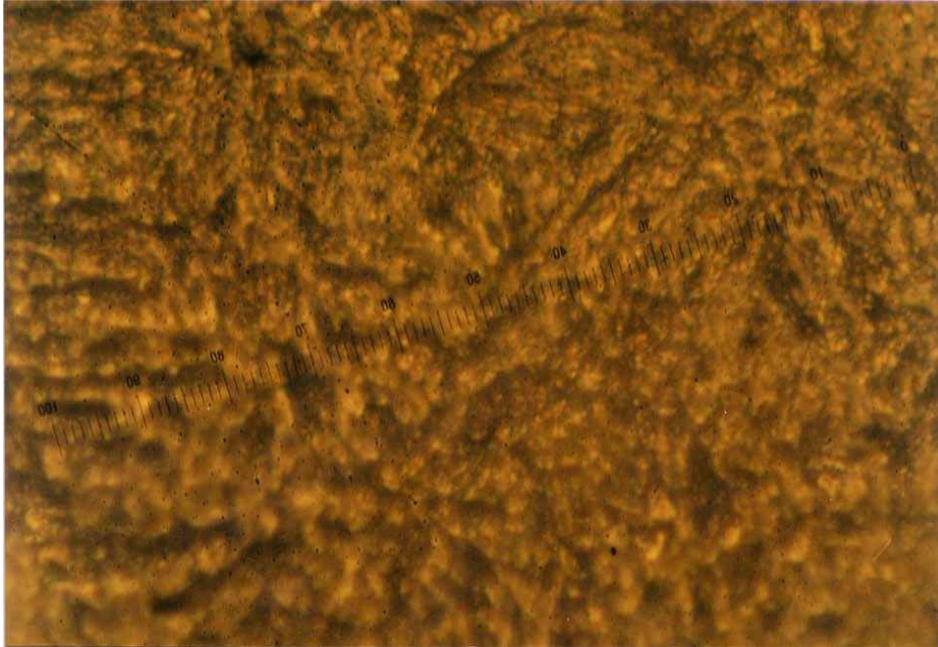
Keterangan gambar struktur mikro baja AISI 1045 hasil proses *hardening*:

- Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik Examet Union 82023.
- Etsa nital 2%, HNO₃ dan methanol.
- Komposisi HNO₃ = 5 ml.
- Komposisi methanol = 100ml.
- Waktu etsa 45 detik.
- Pembesaran 200X dan 1000X.
- Pengambilan foto dengan menggunakan kamera Nikon FX-35 W.
- Menggunakan film Fuji asa 200.
- Struktur mikro yang terbentuk adalah *martensit*.

C. Foto struktur mikro baja AISI 1045 hasil proses tempering dengan temperatur 200°C.



Gambar 4.20. Foto struktur mikro baja AISI 1045 proses *tempering* dengan temperatur 200°C pembesaran 200X

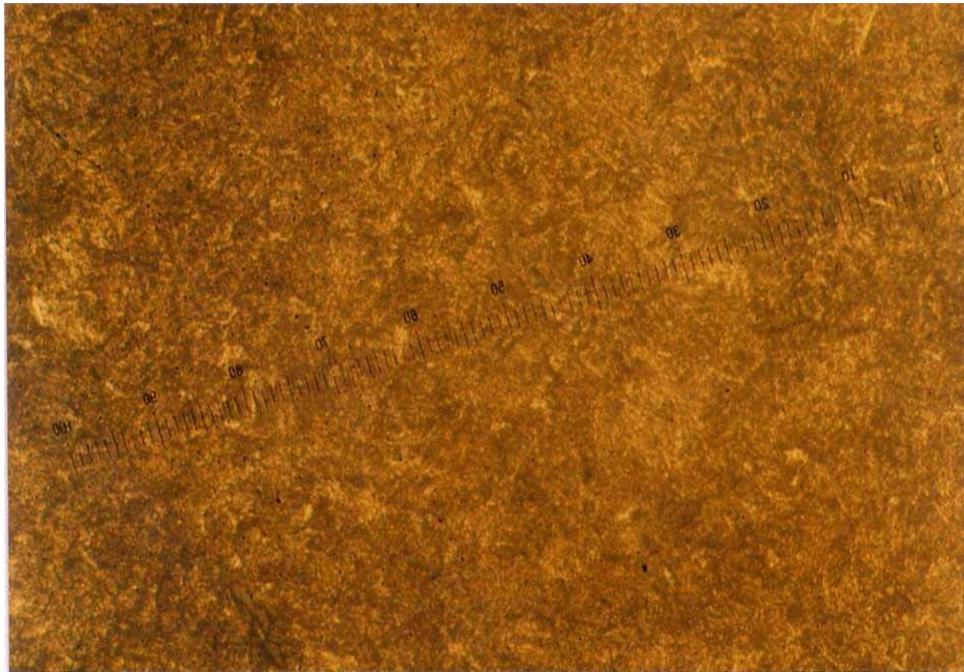


4.21. Foto struktur mikro baja AISI 1045 proses *tempering* dengan temperatur 200°C pembesaran 1000X

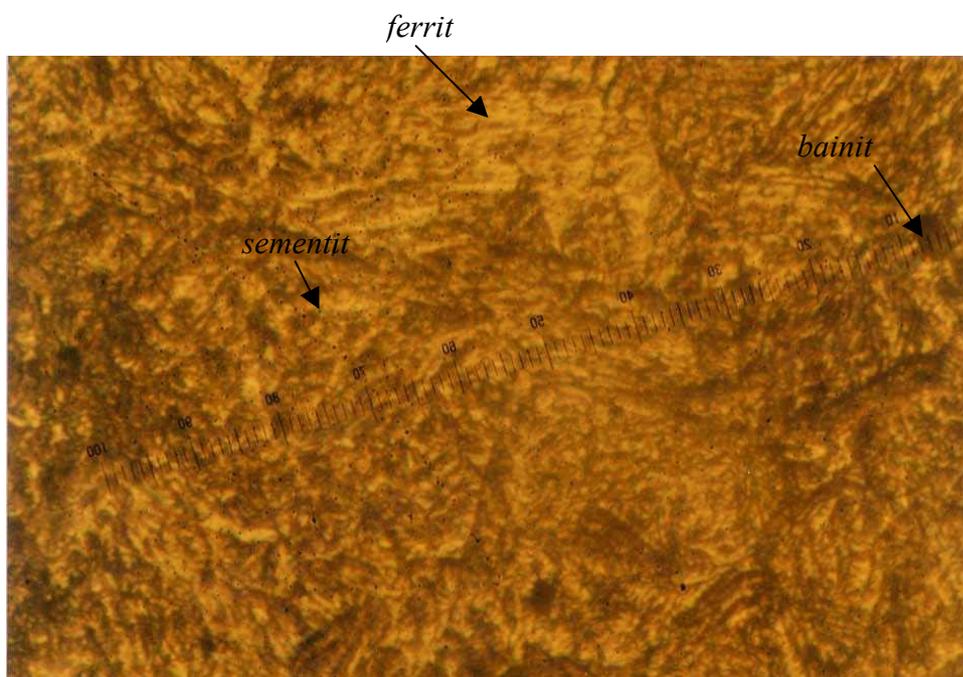
Keterangan gambar struktur mikro baja AISI 1045 hasil proses tempering dengan temperatur 200°C :

- Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik Examet Union 82023.
- Etsa nital 2%, HNO₃ dan methanol.
- Komposisi HNO₃ = 5 ml.
- Komposisi methanol = 100ml.
- Waktu etsa 45 detik.
- Pembesaran 200X dan 1000X.
- Pengambilan foto dengan menggunakan kamera Nikon FX-35 W.
- Menggunakan film Fuji asa 200.
- Struktur mikro yang terbentuk adalah *black martensit*.

D. Foto struktur mikro baja AISI 1045 hasil proses tempering dengan temperatur 400°C.



Gambar 4.22. Foto struktur mikro baja AISI 1045 proses *tempering* dengan temperatur 400°C pembesaran 200X

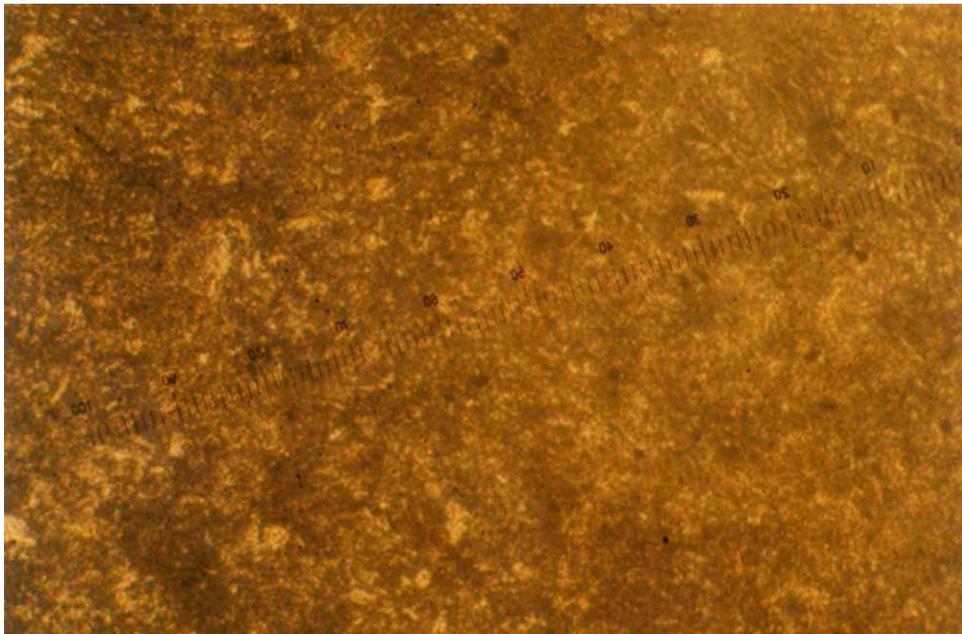


Gambar 4.23. Foto struktur mikro baja AISI 1045 proses *tempering* dengan temperatur 400°C pembesaran 1000X

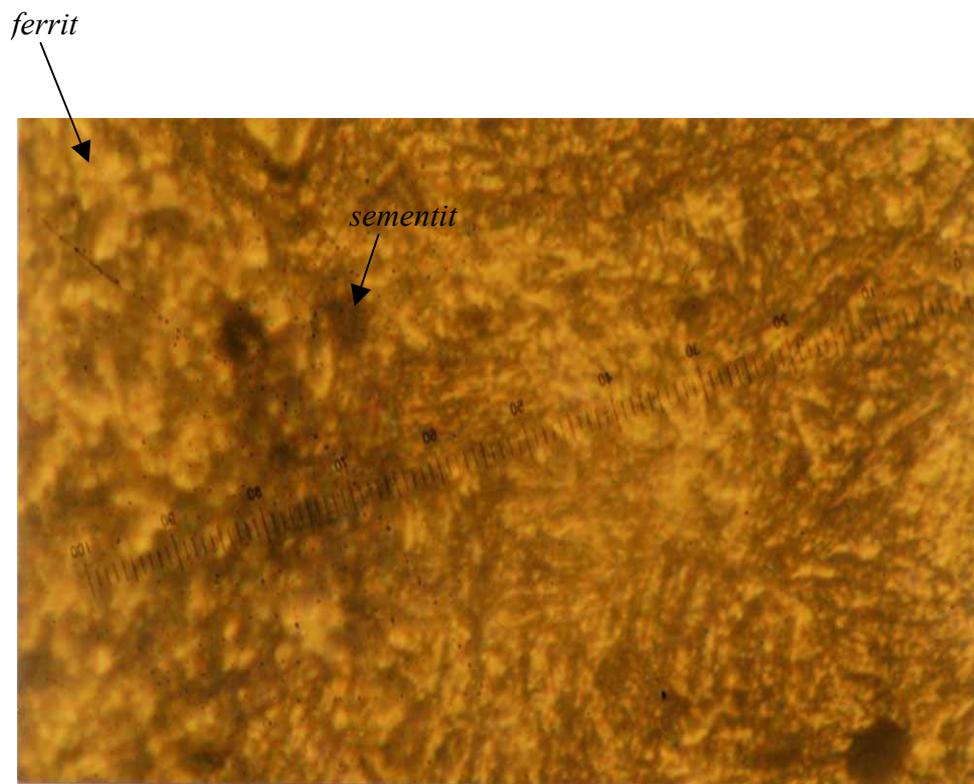
Keterangan gambar struktur mikro baja AISI 1045 hasil proses tempering dengan temperatur 400°C :

- Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik Examet Union 82023.
- Etsa nital 2%, HNO₃ dan methanol.
- Komposisi HNO₃ = 5 ml.
- Komposisi methanol = 100ml.
- Waktu etsa 45 detik.
- Pembesaran 200X dan 1000X.
- Pengambilan foto dengan menggunakan kamera Nikon FX-35 W.
- Menggunakan film Fuji asa 200.
- Struktur mikro yang berwarna terang adalah *ferrit*.
- Struktur mikro yang berwarna sedikit gelap (abu-abu) adalah *sementit*.
- Struktur mikro yang berwarna gelap adalah *bainit*.

E. Foto struktur mikro baja AISI 1045 hasil proses tempering dengan temperatur 600°C.



Gambar 4.24. Foto struktur mikro baja AISI 1045 proses *tempering* dengan temperatur 600°C pembesaran 200X



Gambar 4.25. Foto mikro baja AISI 1045 proses *tempering* dengan temperatur 600°C pembesaran 1000X

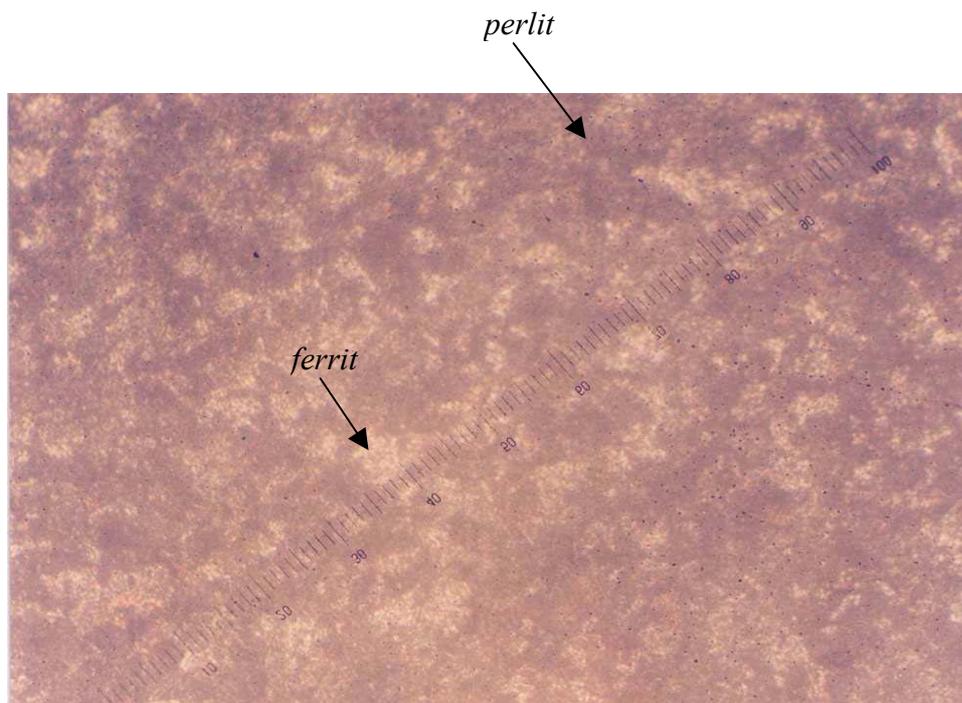
Keterangan gambar struktur mikro baja AISI 1045 hasil proses tempering dengan temperatur 600°C :

- Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik Examet Union 82023.
- Etsa nital 2%, HNO₃ dan methanol.
- Komposisi HNO₃ = 5 ml.
- Komposisi methanol = 100ml.
- Waktu etsa 45 detik.
- Pembesaran 200X dan 1000X.
- Pengambilan foto dengan menggunakan kamera Nikon FX-35 W.
- Menggunakan film Fuji asa 200.
- Struktur mikro yang berwarna terang adalah *ferrit*.
- Struktur mikro yang berwarna gelap adalah *sementit*.

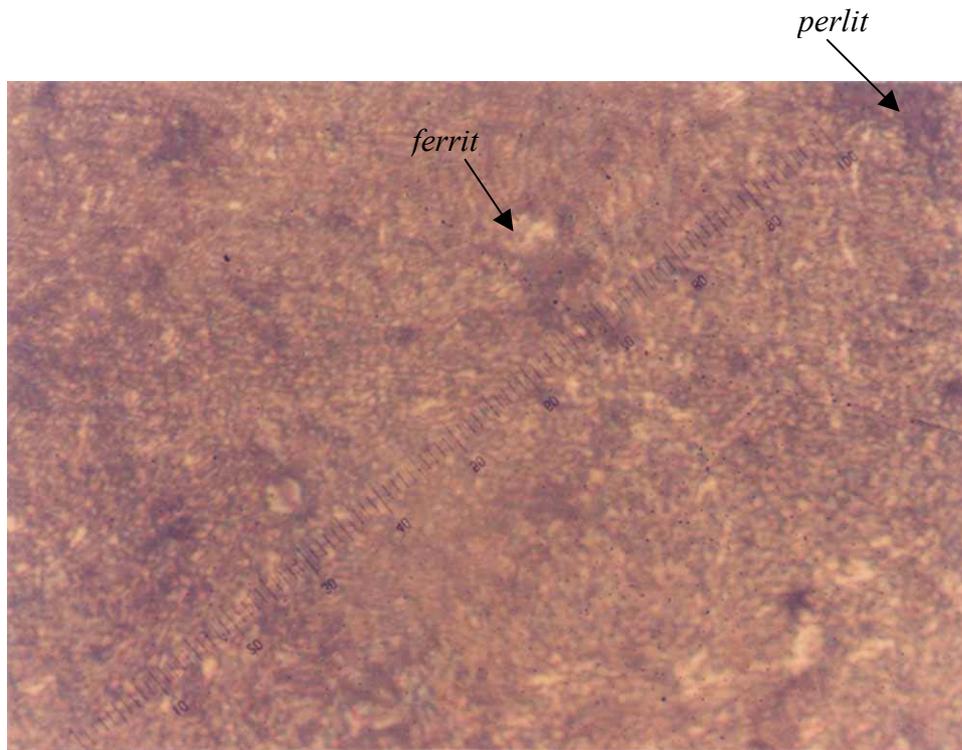
4.1.3.2. Foto Struktur Mikro Baja AISI 4140

Hasil foto struktur mikro baja AISI 4140 untuk masing-masing spesimen yaitu spesimen induk, spesimen hasil proses *hardening*, serta spesimen hasil proses *tempering* dengan temperatur 200°C, temperatur 400°C dan temperatur 600°C dapat dilihat pada gambar 4.26 sampai dengan 4.35. Setiap kondisi difoto dengan menggunakan dua kali pembesaran yaitu pembesaran 200X dan pembesaran 1000X. Pembesaran ini digunakan dengan tujuan agar pada saat pengamatan struktur mikro, struktur mikro yang diamati menjadi lebih besar dan lebih jelas. Pengaturan fokus pada mikroskop dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan gambar yang lebih bagus dan tidak buram.

A. Foto struktur mikro baja AISI 4140 spesimen induk



Gambar 4.26. Foto struktur mikro baja AISI 4140 spesimen induk pembesaran 200X



Gambar 4.27. Foto struktur mikro baja AISI 4140 spesimen induk pembesaran 1000X

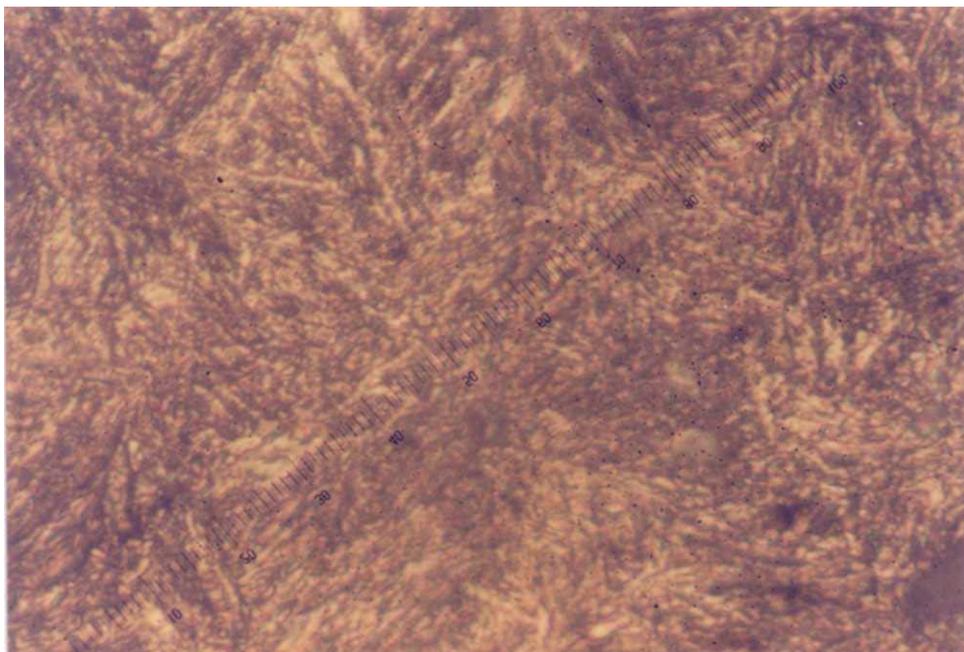
Keterangan gambar struktur mikro baja AISI 4140 spesimen induk :

- Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik Examet Union 82023.
- Etsa nital 2%, HNO₃ dan methanol.
- Komposisi HNO₃ = 5 ml.
- Komposisi methanol = 100ml.
- Waktu etsa 45 detik.
- Pembesaran 200X dan 1000X.
- Pengambilan foto dengan menggunakan kamera Nikon FX-35 W.
- Menggunakan film Fuji asa 200.
- Struktur mikro yang berwarna terang adalah *ferrit*.
- Struktur mikro yang berwarna gelap adalah *perlit*.

B. Foto struktur mikro baja AISI 4140 hasil proses hardening.



Gambar 4.28. Foto struktur mikro baja AISI 4140 proses *hardening* pembesaran 200X

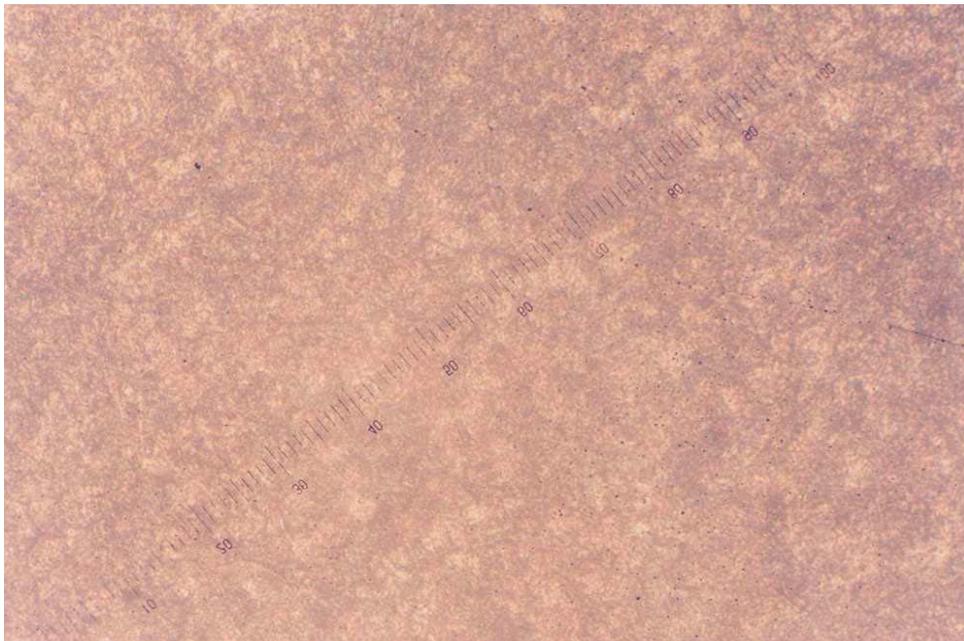


Gambar 4.29. Foto struktur mikro baja AISI 4140 proses *hardening* pembesaran 1000X

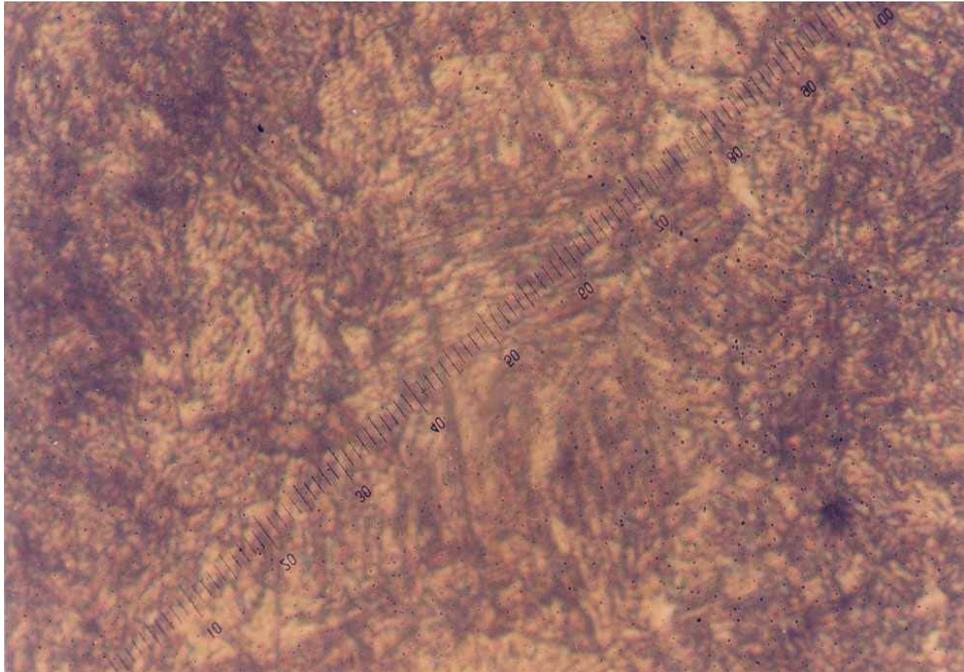
Keterangan gambar struktur mikro baja AISI 4140 hasil proses hardening :

- Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik Examet Union 82023.
- Etsa nital 2%, HNO₃ dan methanol.
- Komposisi HNO₃ = 5 ml.
- Komposisi methanol = 100ml.
- Waktu etsa 45 detik.
- Pembesaran 200X dan 1000X.
- Pengambilan foto dengan menggunakan kamera Nikon FX-35 W.
- Menggunakan film Fuji asa 200.
- Struktur mikro yang terbentuk adalah *martensit*.

C. Foto struktur mikro baja AISI 4140 hasil proses tempering dengan temperatur 200°C.



Gambar 4.30. Foto struktur mikro baja AISI 4140 proses *tempering* dengan temperatur 200°C pembesaran 200X

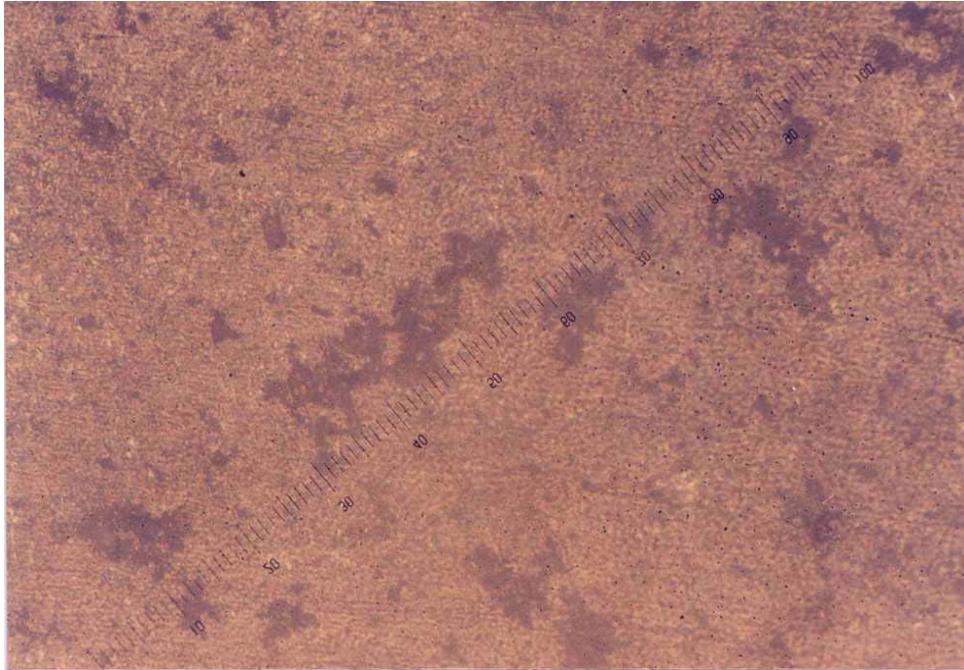


Gambar 4.31. Foto struktur mikro baja AISI 4140 proses *tempering* dengan temperatur 200°C pembesaran 1000X

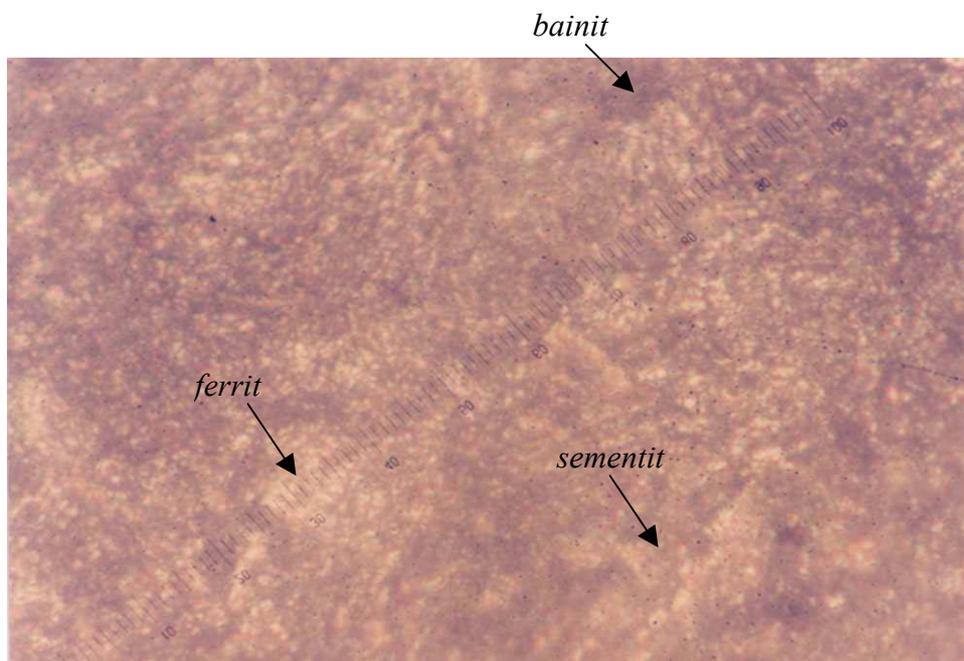
Keterangan gambar struktur mikro baja AISI 4140 hasil proses tempering dengan temperatur 200°C :

- Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik Examet Union 82023.
- Etsa nital 2%, HNO₃ dan methanol.
- Komposisi HNO₃ = 5 ml.
- Komposisi methanol = 100ml.
- Waktu etsa 45 detik.
- Pembesaran 200X dan 1000X.
- Pengambilan foto dengan menggunakan kamera Nikon FX-35 W.
- Menggunakan film Fuji asa 200.
- Struktur mikro yang terbentuk adalah *black martensit*.

D. Foto struktur mikro baja AISI 4140 hasil proses tempering dengan temperatur 400°C.



Gambar 4.32. Foto struktur mikro baja AISI 4140 proses *tempering* dengan temperatur 400°C pembesaran 200X

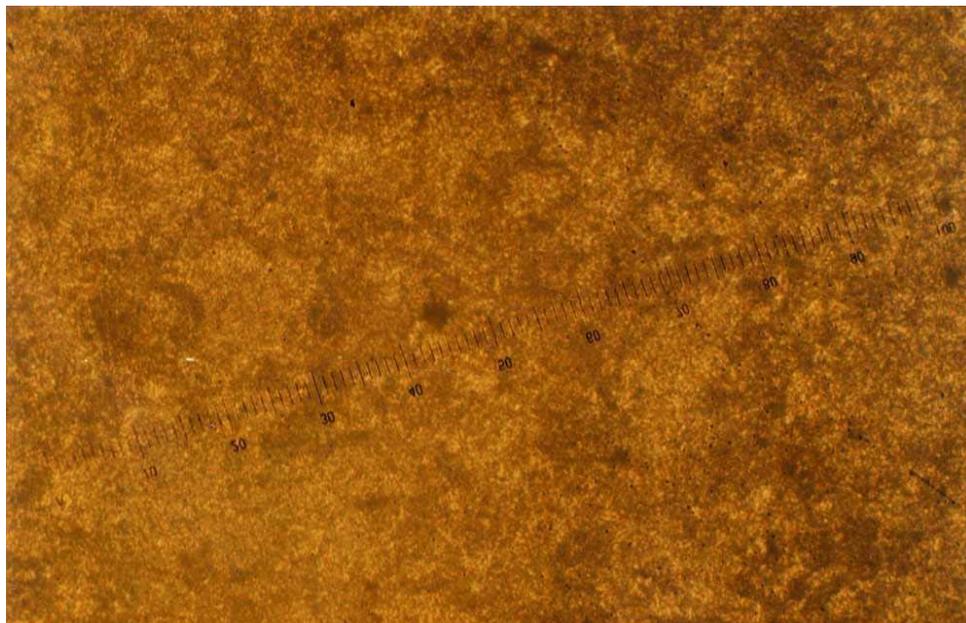


Gambar 4.33. Foto struktur mikro baja AISI 4140 proses *tempering* dengan temperatur 400°C pembesaran 1000X

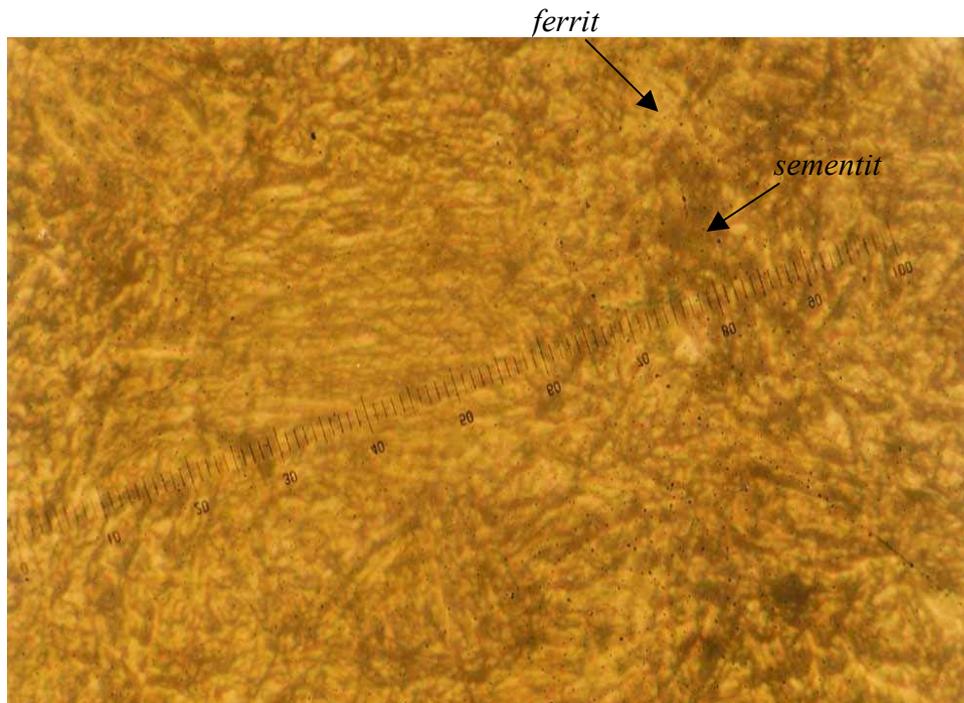
Keterangan gambar struktur mikro baja AISI 4140 hasil proses tempering dengan temperatur 400°C :

- Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik Examet Union 82023.
- Etsa nital 2%, HNO₃ dan methanol.
- Komposisi HNO₃ = 5 ml.
- Komposisi methanol = 100ml.
- Waktu etsa 45 detik.
- Pembesaran 200X dan 1000X.
- Pengambilan foto dengan menggunakan kamera Nikon FX-35 W.
- Menggunakan film Fuji asa 200.
- Struktur mikro yang berwarna terang adalah *ferrit*.
- Struktur mikro yang berwarna sedikit gelap (abu-abu) adalah *sementit*.
- Struktur mikro yang berwarna gelap adalah *bainit*.

E. Foto struktur mikro baja AISI 4140 hasil proses tempering dengan temperatur 600°C.



Gambar 4.34. Foto struktur mikro baja AISI 4140 proses *tempering* dengan temperatur 600°C pembesaran 200X



Gambar 4.35. Foto mikro baja AISI 4140 proses *tempering* dengan temperatur 600°C pembesaran 1000X

Keterangan gambar struktur mikro baja AISI 4140 hasil proses tempering dengan temperatur 600°C :

- Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik Examet Union 82023.
- Etsa nital 2%, HNO₃ dan methanol.
- Komposisi HNO₃ = 5 ml.
- Komposisi methanol = 100ml.
- Waktu etsa 45 detik.
- Pembesaran 200X dan 1000X.
- Pengambilan foto dengan menggunakan kamera Nikon FX-35 W.
- Menggunakan film Fuji asa 200.
- Struktur mikro yang berwarna terang adalah *ferrit*.
- Struktur mikro yang berwarna gelap adalah *sementit*.

4.2. Analisa Data

4.2.1. Analisa Data Hasil Pengujian Baja AISI 1045

4.2.1.1. Logam Induk

Pada baja induk kekerasan rata-ratanya sebesar 14,36 HRC, besarnya kekuatan tarik adalah $41,04 \text{ kgf/mm}^2$ dan prosentase pertambahan panjang sebesar 26,30% pada gauge length 60. Foto struktur mikro pada baja induk dengan pembesaran 200X terlihat bahwa struktur mikro awal baja AISI 1045 terdiri dari *ferrit* yang berwarna terang dan *perlit* yang berwarna gelap. Gambar struktur dapat dilihat pada gambar 4.16. Kemungkinan gambar tersebut kurang jelas dalam pengamatan, oleh karena itu dilakukan pengamatan lagi dengan menggunakan pembesaran 1000X seperti pada gambar 4.17 yang menghasilkan gambar struktur yang lebih besar dan lebih jelas.

4.2.1.2. Hasil Proses Hardening

Proses *hardening* menyebabkan angka kekerasan meningkat menjadi 52,45 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan angka kekerasan yang cukup besar yaitu sekitar 265,25 %. Setelah dilakukan proses hardening, kekuatan tarik menjadi 91 kgf/mm^2 atau naik sebesar 121,73%. Sedangkan prosentase pertambahan panjang menjadi 1,52% pada gauge length 60 atau terjadi penurunan sebesar 94,2%.

Baja AISI 1045 setelah diproses hardening maka terjadi perubahan pada struktur mikronya. Struktur mikro yang awalnya terdiri dari *ferrit* dan *perlit*, yang tampak pada gambar 4.16. dan 4.17 berubah menjadi *martensit*. Perubahan struktur ini disebabkan karena proses pemanasan dengan temperatur yang cukup tinggi kemudian didinginkan dengan proses pendinginan cepat. Proses pembentukan *martensit* dapat dilihat pada gambar 2.9. Titik a adalah temperatur pemanasan proses hardening yaitu 850°C kemudian didinginkan cepat sampai dengan temperatur kamar (titik b). Keseluruhan struktur yang terbentuk adalah *martensit*. Gambar struktur mikronya dengan pembesaran 200X ditunjukkan pada gambar 4.18. Supaya struktur mikro menjadi lebih jelas maka dilakukan pembesaran 1000X seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.19. Pada kondisi seperti ini maka baja akan menjadi sangat keras dan getas.

4.2.1.3. Proses Tempering Dengan Temperatur 200°C

Proses *tempering* dengan temperatur 200°C dan waktu penahanan 60 menit, menghasilkan angka kekerasan sebesar 48,16 HRC. Hal ini apabila dihubungkan dengan kondisi awal logam maka terjadi kenaikan angka kekerasan sebesar 235,37 %. Sedangkan apabila dihubungkan dengan angka kekerasan hasil proses *hardening* maka terjadi penurunan sebesar 8,18 %. Penurunan ini tidak terlalu besar karena temperatur *tempering* yang digunakan tidak terlalu tinggi.

Proses tempering dengan menggunakan temperatur 200°C, menghasilkan kekuatan tarik sebesar 73,14 kgf/mm² serta menghasilkan prosentase pertambahan panjang sebesar 8,67% pada gauge length 60. Hal ini apabila dibandingkan dengan kondisi logam induk maka terjadi peningkatan kekuatan tarik sebesar 78,22% dan penurunan prosentase pertambahan panjang sebesar 67,03%. Apabila dibandingkan dengan spesimen hasil proses *hardening* maka terjadi penurunan kekuatan tarik sebesar 19,63% dan peningkatan keuletan sebesar 470,39%.

Proses *tempering* dengan temperatur 200°C yang dilakukan pada baja AISI 1045 dapat merubah struktur mikro yang sebelumnya adalah *martensit*, seperti terlihat pada gambar 4.18 dan 4.19. berubah menjadi *black martensit* yang berwarna gelap seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.20 dengan menggunakan pembesaran 200X. Proses pembentukan struktur *black martensit* dapat dilihat pada gambar 2.9. *Martensit* yang terbentuk dipanaskan kembali sampai temperatur 200°C (titik c) sehingga terbentuk struktur *black martensit*. *Martensit* masih terlihat tetapi mulai berkurang tetragonalnya dan mulai terbentuk presipitat karbida besi yang sangat halus. Pada kondisi ini baja masih mempunyai kekerasan yang cukup tinggi dan keuletan yang rendah. Untuk lebih memperjelas tampilan struktur mikro yang terbentuk maka dilakukan pembesaran lagi sebesar 1000X seperti yang terlihat pada gambar 4.21.

4.2.1.4. Proses Tempering Dengan Temperatur 400°C

Proses *tempering* dengan temperatur 400°C menunjukkan angka kekerasan sebesar 38 HRC. Hal ini apabila dibandingkan dengan angka kekerasan logam induk maka terjadi peningkatan sebesar 164,62 %. Kenaikan angka kekerasannya masih cukup tinggi. Apabila dibandingkan dengan angka kekerasan pada proses

hardening maka terjadi penurunan angka kekerasan sebesar 27,57 % dan apabila dibandingkan dengan angka kekerasan pada proses *tempering* dengan temperatur 200° C maka terjadi penurunan angka kekerasan sebesar 21 %.

Proses *tempering* dengan temperatur 400°C menghasilkan kekuatan tarik sebesar 57,72 kgf/mm² dan prosentase pertambahan panjang yang didapatkan adalah sebesar 16,25% pada gauge length 60. Kondisi ini apabila dibandingkan dengan logam induk maka terjadi kenaikan kekuatan tarik sebesar 40,64% dan prosentase pertambahan panjang mengalami penurunan sebesar 38,21%. Apabila dibandingkan dengan kondisi pada proses *hardening* maka kekuatan tarik mengalami penurunan sebesar 36,57% sedangkan keuletannya mengalami kenaikan sebesar 969,1%. Jika dibandingkan dengan kondisi pada spesimen hasil *tempering* dengan temperatur 200°C maka kekuatan tarik mengalami penurunan sebesar 21,08% sedangkan keuletannya mengalami peningkatan sebesar 87,43%.

Tempering dengan temperatur 400°C pada baja AISI 1045 menyebabkan *epsilon carbide* bertransformasi menjadi *sementit*, *low-carbon martensit* menjadi *ferrit*, sedangkan *austenit* sisa menjadi *bainit* bawah. *Sementit* yang terbentuk masih sangat halus. Proses transformasinya dapat dilihat pada gambar 2.9. dimana *tempering* dilakukan sampai dengan temperatur 400°C (titik d). Foto struktur mikro ditunjukkan pada gambar 4.22 . Pada kondisi ini spesimen mengalami penurunan kekerasan tetapi keuletan mengalami kenaikan. Pembesaran 1000X dilakukan untuk lebih memperjelas tampilan struktur mikro yang terbentuk seperti yang terlihat pada gambar 4.23.

4.2.1.5. Proses Tempering Dengan Temperatur 600°C

Angka kekerasan pada spesimen yang mengalami proses *tempering* dengan temperatur 600° C adalah sebesar 28,9 HRC. Angka kekerasan ini apabila dibandingkan dengan angka kekerasan logam induk, terjadi kenaikan sebesar 101,25 %. Kenaikan kekerasan ini masih cukup besar. Apabila dibandingkan dengan angka kekerasan pada proses *hardening* maka terjadi penurunan sebesar 44,9 %. Penurunan ini paling besar dibandingkan dengan proses *tempering* yang lain. Hal ini dikarenakan temperatur *tempering* yang digunakan adalah yang paling tinggi yaitu 600°C. Angka kekerasan pada proses ini apabila dibandingkan

dengan angka kekerasan pada proses *tempering* dengan temperatur 200°C maka terjadi penurunan sebesar 39,9 %. Sedangkan apabila dibandingkan dengan angka kekerasan pada proses *tempering* dengan temperatur 400° C maka terjadi penurunan angka kekerasan sebesar 23,95 %.

Tempering dengan menggunakan temperatur 600°C menghasilkan kekuatan tarik sebesar 45,26 kgf/mm² dan prosentase pertambahan panjang sebesar 19,33% pada gauge length 60. Hal ini apabila dibandingkan dengan kondisi awal logam induk maka kekuatan tarik terjadi kenaikan sebesar 10,28% dan prosentase pertambahan panjang mengalami penurunan sebesar 26,5%. Jika dibandingkan dengan spesimen yang mengalami proses hardening maka kekuatan tarik mengalami penurunan sebesar 50,26% dan keuletan mengalami peningkatan sebesar 1171,71%. Sedangkan apabila dibandingkan dengan spesimen hasil tempering dengan temperatur 200°C maka kekuatan tarik mengalami penurunan sebesar 38,12% dan keuletan mengalami peningkatan sebesar 122,95%. Apabila dibandingkan dengan spesimen hasil proses tempering dengan temperatur 400°C maka kekuatan tarik mengalami penurunan sebesar 21,59% dan keuletan mengalami peningkatan sebesar 18,95%.

Proses *tempering* dengan temperatur yang paling tinggi yaitu 600°C menyebabkan partikel *sementit* tumbuh lebih besar dan *ferrit* mulai tampak lebih cerah. Struktur yang demikian juga sering disebut dengan *sorbite*. Proses transformasinya dapat dilihat pada gambar 2.9 dimana temperatur tempering yang digunakan adalah 600°C (titik d). Foto struktur mikro ditunjukkan pada gambar 4.24 dengan pembesaran 200X. Agar struktur yang diamati menjadi lebih jelas tampilannya maka dilakukan pembesaran 1000X seperti yang terlihat pada gambar 4.25.

4.2.2. Analisa Data Hasil Pengujian Baja AISI 4140

4.2.2.1. Logam Induk

Baja AISI 4140 merupakan baja paduan nikel dan chrom. Penambahan unsur paduan ini menyebabkan baja mempunyai angka kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon AISI 1045. Pada baja induk angka kekerasan rata-ratanya sebesar 28,99 HRC. Baja AISI 4140 untuk logam induk

diketahui besarnya kekuatan tarik adalah 54,56 kgf/mm² dan prosentase pertambahan panjang sebesar 18,75% pada gauge length 60.

Pada baja AISI 4140 spesimen induk terlihat bahwa struktur mikro awal terdiri dari *ferrit* yang berwarna terang dan *perlit* yang berwarna gelap, dapat dilihat pada gambar 4.26 dengan pembesaran 200X. Pengamatan struktur mikro dilakukan lagi dengan pembesaran 1000X untuk lebih memperjelas tampilan struktur mikro yang terjadi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.27.

4.2.2.2. Hasil Proses Hardening

Setelah dilakukan proses *hardening* angka kekerasan baja AISI 4140 meningkat menjadi 56,02 HRC. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan angka kekerasan yang cukup besar yaitu sekitar 93,24 %. Proses *hardening* menyebabkan kekuatan tariknya meningkat menjadi 88,98 kgf/mm² atau naik sebesar 63,09%. Sedangkan prosentase pertambahan panjang menjadi 1,33% pada gauge length 60 atau terjadi penurunan sebesar 92,9%. Angka kekerasan pada baja AISI 4140 lebih tinggi dan keuletannya lebih rendah jika dibandingkan dengan baja AISI 1045.

Setelah baja AISI 4140 diproses *hardening* maka struktur mikronya menjadi berubah. Struktur mikro yang awalnya terdiri dari *ferrit* dan *perlit*, seperti yang tampak pada gambar 4.26 dan 4.27 berubah menjadi *martensit*. Perubahan struktur ini disebabkan karena proses pemanasan dengan temperatur yang cukup tinggi kemudian didinginkan dengan laju pendinginan yang cepat. Proses transformasinya dapat dilihat pada gambar 2.9. Spesimen dipanaskan sampai temperatur 850°C (titik a) kemudian didinginkan cepat sampai temperatur kamar (titik b). Foto struktur mikro ditunjukkan pada gambar 4.28 dengan pembesaran 200X. Pada gambar 4.29 dilakukan pembesaran 1000X untuk lebih memperjelas tampilan struktur mikro yang tampak.

4.2.2.3. Proses Tempering Dengan Temperatur 200°C

Proses *tempering* dengan temperatur 200°C dan waktu penahanan 60 menit, menghasilkan angka kekerasan sebesar 51,46 HRC. Hal ini apabila dibandingkan dengan kondisi awal logam maka terjadi kenaikan angka kekerasan

sebesar 77,51 %. Sedangkan apabila dibandingkan dengan angka kekerasan hasil proses *hardening* maka terjadi penurunan sebesar 8,14 %. Penurunan ini tidak terlalu besar karena temperatur *tempering* yang digunakan tidak terlalu tinggi.

Untuk proses *tempering* dengan menggunakan temperatur 200°C, menghasilkan kekuatan tarik sebesar 62,24 kgf/mm² serta menghasilkan prosentase pertambahan panjang sebesar 7,19 % pada gauge length 60. Hal ini apabila dibandingkan dengan kondisi logam induk maka terjadi peningkatan kekuatan tarik sebesar 14,07% dan penurunan prosentase pertambahan panjang sebesar 61,65%. Apabila dibandingkan dengan spesimen hasil proses *hardening* maka terjadi penurunan kekuatan tarik sebesar 30,05% dan peningkatan keuletan sebesar 440,60%.

Proses *tempering* dengan temperatur 200°C yang dilakukan pada baja AISI 4140 dapat merubah struktur mikro yang sebelumnya adalah *martensit*, seperti terlihat pada gambar 4.28 dan 4.29. berubah menjadi *black martensit* yang berwarna gelap seperti yang terlihat pada gambar 4.30 dengan pembesaran 200X. Proses transformasinya dapat dilihat pada gambar 2.9 dimana proses *tempering* dilakukan sampai dengan temperatur 200°C (titik c). *Martensit* masih terlihat tetapi mulai berkurang tetragonalnya dan mulai terbentuk presipitat karbida besi yang sangat halus. Untuk lebih memperjelas tampilan struktur mikro yang terbentuk maka dilakukan pembesaran 1000X seperti yang tampak pada gambar 4.31.

4.2.2.4. Proses Tempering Dengan Temperatur 400°C

Proses *tempering* dengan temperatur 400°C menunjukkan angka kekerasan sebesar 48,47 HRC. Hal ini apabila dibandingkan dengan kekerasan logam induk maka terjadi peningkatan angka kekerasan sebesar 67,19 %. Kenaikan angka kekerasannya masih cukup tinggi. Apabila dibandingkan dengan angka kekerasan pada proses *hardening* maka terjadi penurunan angka kekerasan sebesar 13,48 % dan apabila dibandingkan dengan angka kekerasan pada proses *tempering* dengan temperatur 200° C maka terjadi penurunan angka kekerasan sebesar 5,81 %. Penurunan angka kekerasan ini terlihat tidak terlalu besar.

Proses tempering dengan temperatur 400°C menghasilkan kekuatan tarik sebesar 58,73 kgf/mm² dan prosentase pertambahan panjang yang didapatkan adalah sebesar 13,63% pada gauge length 60. Kondisi ini apabila dibandingkan dengan logam induk maka terjadi kenaikan kekuatan tarik sebesar 7,64% dan prosentase pertambahan panjang mengalami penurunan sebesar 27,31%. Apabila dibandingkan dengan kondisi spesimen hasil proses hardening maka terjadi penurunan kekuatan tarik sebesar 33,99% dan peningkatan keuletan sebesar 924,81%. Sedangkan apabila dibandingkan dengan spesimen hasil proses tempering dengan temperatur 200°C maka terjadi penurunan kekuatan tarik sebesar 5,64% dan terjadi peningkatan keuletan sebesar 89,57%.

Tempering dengan temperatur 400°C menyebabkan *epsilon carbide* bertransformasi menjadi *sementit*, *low-carbon martensit* menjadi *ferrit*, sedangkan *austenit* sisa menjadi *bainit* bawah. *Sementit* yang terbentuk pada proses ini terlihat masih sangat halus. Proses transformasinya dapat dilihat pada gambar 2.9. dimana tempering dilakukan sampai temperatur 400°C (titik d). Foto struktur mikro ditunjukkan pada gambar 4.32 dengan pembesaran 200X. Struktur akan terlihat lebih jelas lagi jika dilakukan pembesaran 1000X seperti yang tampak pada gambar 4.33.

4.2.2.5. Proses Tempering Dengan Temperatur 600°C

Angka kekerasan pada spesimen yang mengalami proses *tempering* dengan temperatur 600° C adalah sebesar 41,65 HRC. Angka kekerasan ini apabila dibandingkan dengan angka kekerasan logam induk, terjadi kenaikan sebesar 43,67%. Kenaikan angka kekerasan ini masih cukup besar. Apabila dibandingkan dengan angka kekerasan pada proses *hardening* maka terjadi penurunan sebesar 34,5 %. Penurunan ini paling besar apabila dibandingkan dengan proses *tempering* yang lain. Hal ini dikarenakan temperatur *tempering* yang digunakan adalah yang paling tinggi. Angka kekerasan pada proses ini apabila dibandingkan dengan angka kekerasan pada proses *tempering* dengan temperatur 200°C maka terjadi penurunan sebesar 23,55 %. Sedangkan apabila dibandingkan dengan angka kekerasan pada proses *tempering* dengan temperatur 400° C maka terjadi penurunan angka kekerasan sebesar 16,37 %. Angka

kekerasan yang dimiliki baja paduan jenis ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan angka kekerasan baja karbon.

Tempering dengan menggunakan temperatur 600°C menghasilkan kekuatan tarik sebesar 56,81 kgf/mm² dan prosentase pertambahan panjang sebesar 15,28% pada gauge length 60. Hal ini apabila dibandingkan dengan kondisi awal logam induk maka kekuatan tarik terjadi kenaikan sebesar 4,12 % dan prosentase pertambahan panjang mengalami penurunan sebesar 18,5%. Jika dibandingkan dengan spesimen yang mengalami proses hardening maka kekuatan tarik mengalami penurunan sebesar 36,15% dan keuletan mengalami peningkatan sebesar 1048,87%. Sedangkan apabila dibandingkan dengan spesimen hasil tempering dengan temperatur 200°C maka kekuatan tarik mengalami penurunan sebesar 8,72% dan keuletan mengalami peningkatan sebesar 112,52%. Apabila dibandingkan dengan spesimen hasil proses tempering dengan temperatur 400°C maka kekuatan tarik mengalami penurunan sebesar 3,27% dan keuletan mengalami peningkatan sebesar 12,11%. Kekuatan tarik baja AISI 4140 lebih tinggi jika dibandingkan dengan AISI 1045, tetapi keuletan AISI 4140 lebih rendah jika dibandingkan AISI 1045.

Proses *tempering* dengan temperatur yang paling tinggi yaitu 600°C akan menyebabkan partikel *sementit* tumbuh menjadi lebih besar dan *ferrit* mulai tampak lebih cerah. Struktur yang demikian juga sering disebut dengan *sorbite*. Proses transformasinya dapat dilihat pada gambar 2.9 dimana tempering dilakukan sampai dengan temperatur 600°C (titik e). Foto struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.34. Untuk lebih memperjelas tampilan struktur mikro yang terjadi maka dilakukan pembesaran 1000X seperti yang tampak pada gambar 4.35.