

BAB 4

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Data penelitian ini meliputi hasil pengujian tarik dan ketahanan kelelahan sesudah dipres. Pada data penelitian, untuk mempermudah penghafalan variasi benda kerja pada spesimen maka dibuatlah kodefikasi spesimen sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Kodefikasi Spesimen

Reduksi ketebalan benda kerja	Temperatur benda kerja		
	125 °C	135 °C	145 °C
5 %	A1	A2	A3
10 %	B1	B2	B3
15 %	C1	C2	C3

Keterangan Kodefikasi :

A1 = Reduksi ketebalan benda kerja 5 % dengan temperatur 125 °C

A2 = Reduksi ketebalan benda kerja 5 % dengan temperatur 135 °C

A3 = Reduksi ketebalan benda kerja 5 % dengan temperatur 145 °C

B1 = Reduksi ketebalan benda kerja 10 % dengan temperatur 125 °C

B2 = Reduksi ketebalan benda kerja 10 % dengan temperatur 135 °C

B3 = Reduksi ketebalan benda kerja 10 % dengan temperatur 145 °C

C1 = Reduksi ketebalan benda kerja 15 % dengan temperatur 125 °C

C2 = Reduksi ketebalan benda kerja 15 % dengan temperatur 135 °C

C3 = Reduksi ketebalan benda kerja 15 % dengan temperatur 145 °C

4. 1 Data Pengujian Tarik, Strukturmikro dan Fatigue

4. 1. 1. Uji Tarik

Pengujian tarik pada material aluminium komposit abu dasar batubara dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dari bahan uji sehingga dapat diketahui nilai kekerasan rata-rata dari semua benda uji dengan menggunakan standart ASTM E8/E8M. Data hasil pengujian tarik terhadap spesimen sesudah divariasi reduksi ketebalan dan temperatur benda kerja sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Data Hasil Uji Tarik Spesimen A1

No	Spesimen A1	Keterangan
1	Panjang awal (L_0), mm	100
2	Panjang akhir (L_f), mm	100,66
3	Pertambahan panjang (ΔL_{total}), mm	0,66
4	Dimensi awal mula-mula (D_0), mm	6 mm × 6 mm
5	Luas penampang mula-mula (A_0), mm ²	36
6	Beban yield (P_y), N	4960
7	Beban Ultimate (P_u), N	8000
8	Beban putus (P_{pts}), N	7680
9	ΔL (yield), mm	0,2
10	ΔL (max), mm	0,63
11	ΔL (putus), mm	0,66

- Tegangan Teknik dan Regangan Teknik
 $L_{yield} = L_0 + \Delta L_y = 100 + 0,2 = 100,2 \text{ mm}$
 $L_{max} = L_0 + \Delta L_u = 100 + 0,4 = 100,63 \text{ mm}$
 $L_{pts} = L_0 + \Delta L_{pts} = 100 + 0,66 = 100,66 \text{ mm}$
 - Tegangan Teknik
-

$$\sigma_{t(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4960}{36} = 137,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(u)} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{8000}{36} = 222,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(pts)} = \frac{P_{pts}}{A_0} = \frac{7680}{36} = 213,3 \text{ N/mm}^2$$

- Regangan Teknik

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,2 - 100}{100} \times 100\% = 0,002$$

$$\varepsilon_u = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,63 - 100}{100} \times 100\% = 0,0063$$

$$\varepsilon_{pts} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,66 - 100}{100} \times 100\% = 0,0066$$

- Kekuatan Tarik Maksimum (UTS)

$$S_u = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{8000}{36} = 222,2 \text{ N/mm}^2$$

- Batas Luluh

$$S_0 = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4960}{36} = 137,7 \text{ N/mm}^2$$

- Modulus Elastis

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{137,7}{0,2\%} = 68850 \text{ N/mm}^2 = 68,85 \text{ GPa}$$

- Persentase Perpanjangan

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,66 - 100}{100} \times 100\% = 0,0066$$

- Resilience

$$UR = \frac{1}{2} \times S_0 \times \varepsilon_y = \frac{1}{2} \times 137,7 \times 0,2\% = 13,77 \text{ N/mm}^2$$

- Toughness (Ketangguhan)

$$UT = \frac{S_0 + S_u}{2} \times e_f = \frac{137,7 + 222,2}{2} \times 0,66\% = 118,76 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan dan Regangan Sebenarnya

❖ Tegangan sejati pada beban maksimum

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u}$$

Luas penampang pada saat beban maksimum

$$Volume = A_0 \times L_0 = 36 \times 100 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$Volume = A_u \times \text{panjang max} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u + 100,66 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u = \frac{3600}{100,66} = 35,763 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u} = 222,2 \frac{36}{35,763} = 223,67 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan sejati pada beban maksimum

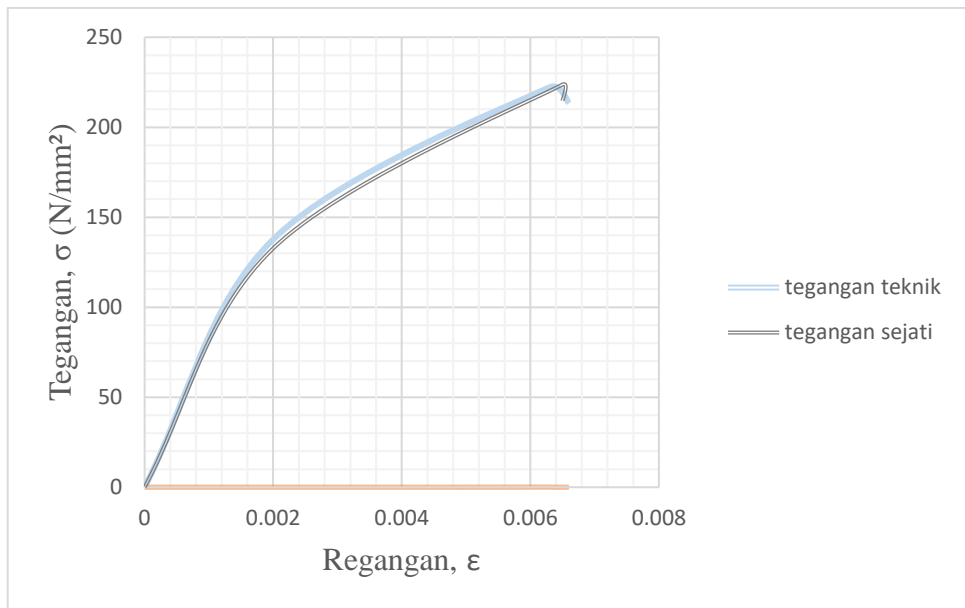
$$\varepsilon_u = \ln \frac{A_0}{A_u} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,763} \times 100\% = 0,0065$$

- ❖ Tegangan patah sejati

$$\sigma_f = \frac{P_{pts}}{A_f} = \frac{7680}{35,763} = 214,7 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan patah sejati

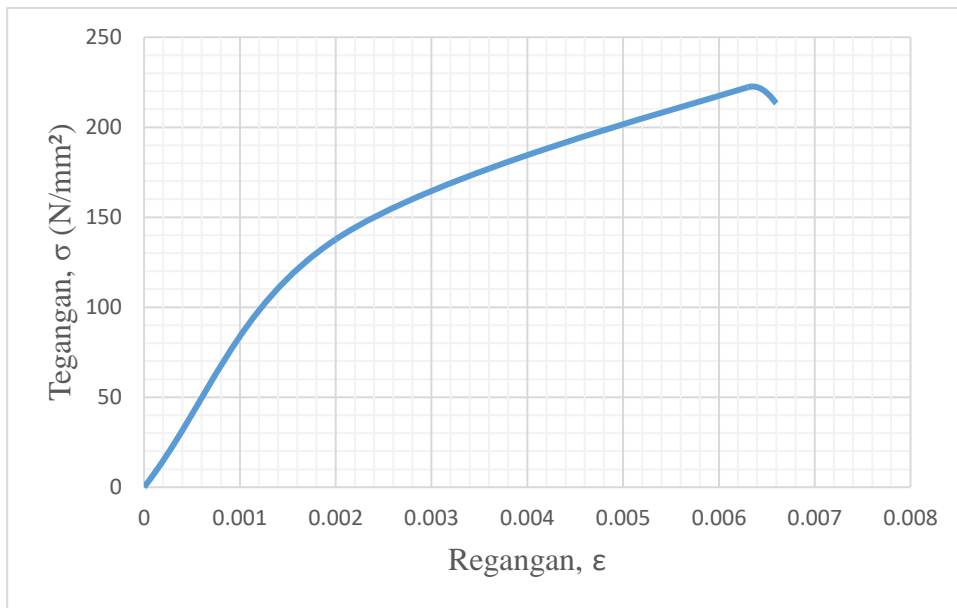
$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,763} \times 100\% = 0,0065$$



Gambar 4. 1 Tegangan-Regangan Sejati Spesimen A1

Tabel 4. 3 Tegangan-Regangan Spesimen A1

No.	Tegangan dan Regangan Teknik	Hasil
1	Tegangan Teknik (σ yield), N/mm ²	137,7
2	Tegangan Teknik (σ maximum), N/mm ²	222,2
3	Tegangan Teknik (σ putus), N/mm ²	213,3
4	Regangan Teknik (ϵ yield),	0,002
5	Regangan Teknik (ϵ maximum),	0,0063
6	Regangan Teknik (ϵ putus),	0,0066



Gambar 4. 4 Grafik Tegangan dan Regangan Spesimen A1

Tabel 4. 4 Data Hasil Uji Tarik Spesimen A2

No	Spesimen A2	Keterangan
1	Panjang awal (L_0), mm	100
2	Panjang akhir (L_f), mm	100,20
3	Pertambahan panjang (ΔL_{total}), mm	0,20
4	Dimensi awal mula-mula (D_0), mm	6 mm × 6 mm
5	Luas penampang mula-mula (A_0), mm ²	36
6	Beban yield (P_y), N	4560
7	Beban Ultimate (P_u), N	6960
8	Beban putus (P_{pts}), N	6480
9	ΔL (yield), mm	0,04
10	ΔL (max), mm	0,18
11	ΔL (putus), mm	0,20

- Tegangan Teknik dan Regangan Teknik

$$L_{yield} = L_0 + \Delta L_y = 100 + 0,04 = 100,04 \text{ mm}$$

$$L_{max} = L_0 + \Delta L_u = 100 + 0,18 = 100,18 \text{ mm}$$

$$L_{pts} = L_0 + \Delta L_{pts} = 100 + 0,20 = 100,20 \text{ mm}$$

- Tegangan Teknik

$$\sigma_{t(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4560}{36} = 126,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(u)} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6960}{36} = 193,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(pts)} = \frac{P_{pts}}{A_0} = \frac{6480}{36} = 180 \text{ N/mm}^2$$

- Regangan Teknik

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,04 - 100}{100} \times 100\% = 0,0004$$

$$\varepsilon_u = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,18 - 100}{100} \times 100\% = 0,0018$$

$$\varepsilon_{pts} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,20 - 100}{100} \times 100\% = 0,0020$$

- Kekuatan Tarik Maksimum (UTS)

$$S_u = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6960}{36} = 193,3 \text{ N/mm}^2$$

- Batas Luluh

$$S_0 = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4560}{36} = 126,6 \text{ N/mm}^2$$

- Modulus Elastis

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{126,6}{0,04\%} = 316500 \text{ N/mm}^2 = 316,5 \text{ GPa}$$

- Persentase Perpanjangan

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,20 - 100}{100} \times 100\% = 0,0020$$

- Resilience

$$UR = \frac{1}{2} \times S_0 \times \varepsilon_y = \frac{1}{2} \times 126,6 \times 0,04\% = 2,53 \text{ N/mm}^2$$

- Toughness (Ketangguhan)

$$UT = \frac{S_0 + S_u}{2} \times e_f = \frac{126,6 + 193,3}{2} \times 0,20\% = 31,99 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan dan Regangan Sebenarnya

- ❖ Tegangan sejati pada beban maksimum

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u}$$

Luas penampang pada saat beban maksimum

$$Volume = A_0 \times L_0 = 36 \times 100 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$Volume = A_u \times \text{panjang max} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u \times 100,20 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u = \frac{3600}{100,20} = 35,928 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u} = 193,3 \frac{36}{35,928} = 193,68 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan sejati pada beban maksimum

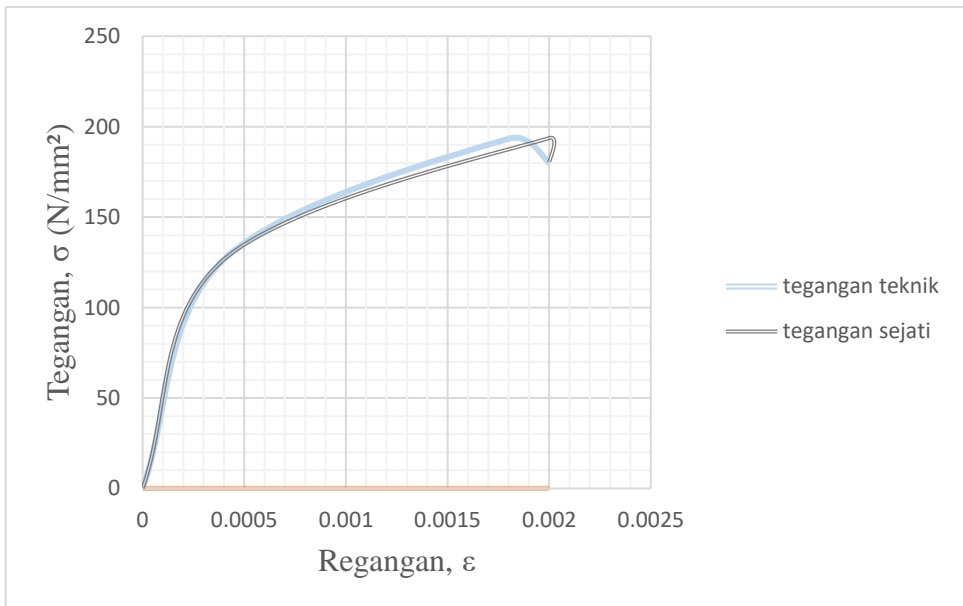
$$\varepsilon_u = \ln \frac{A_0}{A_u} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,928} \times 100\% = 0,0020$$

- ❖ Tegangan patah sejati

$$\sigma_f = \frac{P_{pts}}{A_f} = \frac{6480}{35,928} = 180,36 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan patah sejati

$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,928} \times 100\% = 0,0020$$

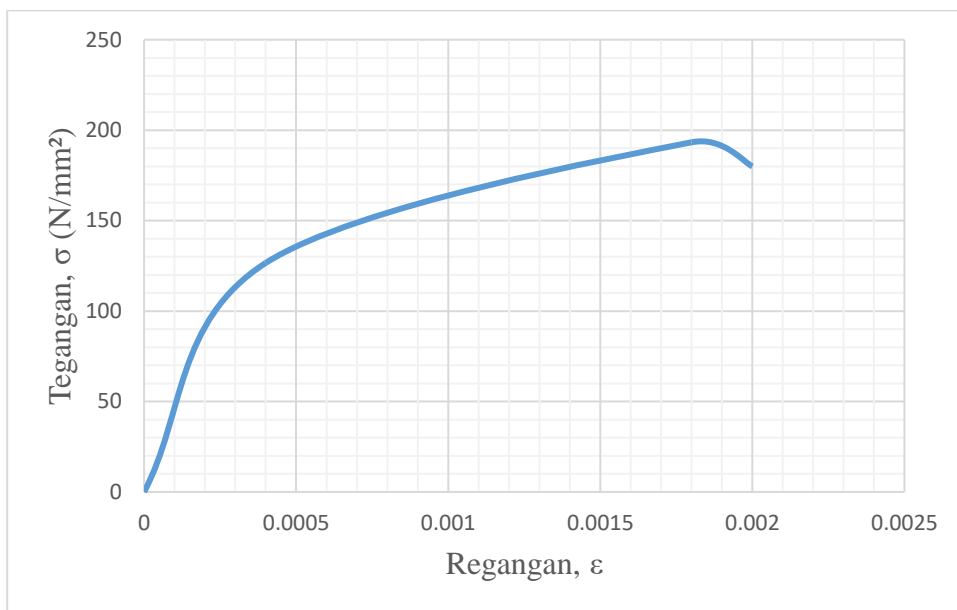


Gambar 4. 2 Tegangan-Regangan Sejati Spesimen A2

Tabel 4. 5 Tegangan-Regangan Spesimen A2

No.	Tegangan dan Regangan Teknik	Hasil
1	Tegangan Teknik (σ yield), N/mm ²	126,6

2	Tegangan Teknik (σ maximum), N/mm ²	193,3
3	Tegangan Teknik (σ putus), N/mm ²	180
4	Regangan Teknik (ϵ yield),	0,0004
5	Regangan Teknik (ϵ maximum),	0,0018
6	Regangan Teknik (ϵ putus),	0,0020



Gambar 4. 3 Grafik Tegangan dan Regangan Spesimen A2

Tabel 4. 6 Data Hasil Uji Tarik Spesimen A3

No	Spesimen A3	Keterangan
1	Panjang awal (L_0), mm	100
2	Panjang akhir (L_f), mm	100,80
3	Pertambahan panjang (ΔL_{total}), mm	0,80
4	Dimensi awal mula-mula (D_0), mm	6 mm × 6 mm
5	Luas penampang mula-mula (A_0), mm ²	36
6	Beban yield (P_y), N	4400
7	Beban Ultimate (P_u), N	6800
8	Beban putus (P_{pts}), N	6160
9	ΔL (yield), mm	0,24
10	ΔL (max), mm	0,76
11	ΔL (putus), mm	0,80

- Tegangan Teknik dan Regangan Teknik

$$L_{yield} = L_0 + \Delta L_y = 100 + 0,24 = 100,24 \text{ mm}$$

$$L_{max} = L_0 + \Delta L_u = 100 + 0,76 = 100,76 \text{ mm}$$

$$L_{pts} = L_0 + \Delta L_{pts} = 100 + 80 = 100,80 \text{ mm}$$
- Tegangan Teknik

$$\sigma_{t(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4400}{36} = 122,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(u)} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6800}{36} = 188,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(pts)} = \frac{P_{pts}}{A_0} = \frac{6160}{36} = 171,1 \text{ N/mm}^2$$
- Regangan Teknik

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,24 - 100}{100} \times 100\% = 0,0024$$

$$\varepsilon_u = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,76 - 100}{100} \times 100\% = 0,0076$$

$$\varepsilon_{pts} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,80 - 100}{100} \times 100\% = 0,0080$$

- Kekuatan Tarik Maksimum (UTS)

$$S_u = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6800}{36} = 188,8 \text{ N/mm}^2$$

- Batas Luluh

$$S_0 = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4400}{36} = 122,2 \text{ N/mm}^2$$

- Modulus Elastis

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{122,2}{0,24\%} = 50916,6 \text{ N/mm}^2 = 50,916 \text{ GPa}$$

- Persentase Perpanjangan

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,80 - 100}{100} \times 100\% = 0,0080$$

- Resilience

$$UR = \frac{1}{2} \times S_0 \times \varepsilon_y = \frac{1}{2} \times 122,2 \times 0,24\% = 14,66 \text{ N/mm}^2$$

- Toughness (Ketangguhan)

$$UT = \frac{S_0 + S_u}{2} \times e_f = \frac{122,2 + 188,8}{2} \times 0,80\% = 124,4 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan dan Regangan Sebenarnya

- ❖ Tegangan sejati pada beban maksimum

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u}$$

Luas penampang pada saat beban maksimum

$$Volume = A_0 \times L_0 = 36 \times 100 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$Volume = A_u \times \text{panjang max} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u \times 100,80 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u = \frac{3600}{100,80} = 35,714 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u} = 188,8 \frac{36}{35,714} = 190,3 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan sejati pada beban maksimum

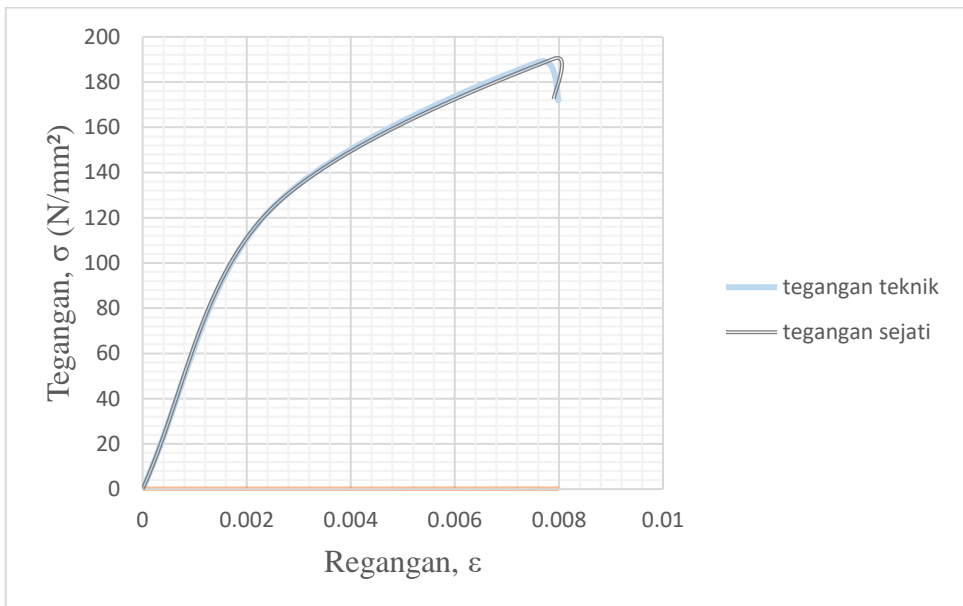
$$\varepsilon_u = \ln \frac{A_0}{A_u} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,714} \times 100\% = 0,0079$$

- ❖ Tegangan patah sejati

$$\sigma_f = \frac{P_{pts}}{A_f} = \frac{6160}{35,714} = 172,48 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan patah sejati

$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,714} \times 100\% = 0,0079$$

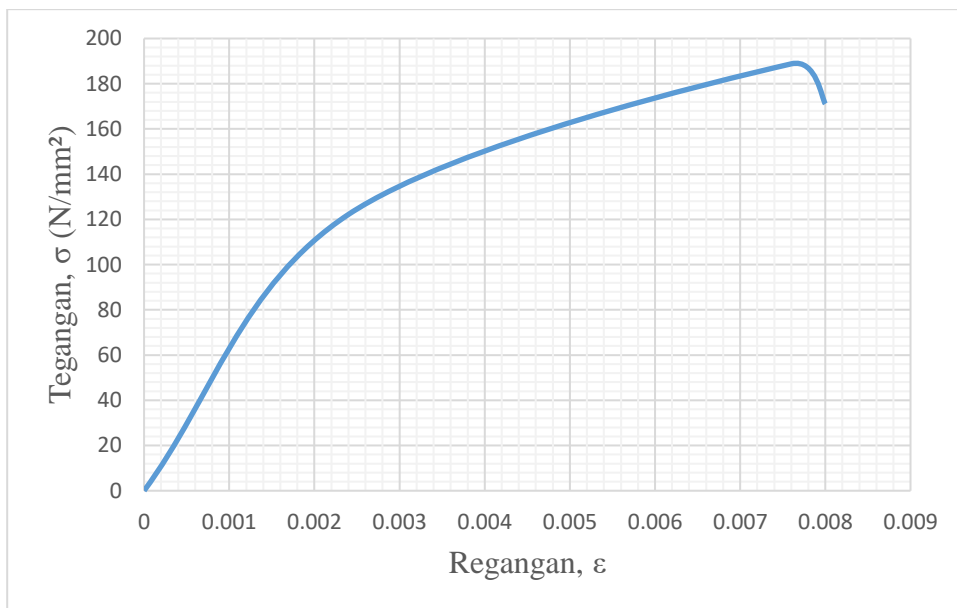


Gambar 4. 4 Tegangan-Regangan Sejati Spesimen A3

Tabel 4. 7 Tegangan-Regangan Spesimen A3

No.	Tegangan dan Regangan Teknik	Hasil
1	Tegangan Teknik (σ yield), N/mm^2	122,2
2	Tegangan Teknik (σ maximum), N/mm^2	188,8

3	Tegangan Teknik (σ putus), N/mm ²	171,1
4	Regangan Teknik (ϵ yield),	0,0024
5	Regangan Teknik (ϵ maximum),	0,0076
6	Regangan Teknik (ϵ putus),	0,0080



Gambar 4. 8 Grafik Tegangan dan Regangan Spesimen A3

Tabel 4. 8 Data Hasil Uji Tarik Spesimen B1

No	Spesimen B1	Keterangan
1	Panjang awal (L_0), mm	100
2	Panjang akhir (L_f), mm	100,70
3	Pertambahan panjang (ΔL_{total}), mm	0,70
4	Dimensi awal mula-mula (D_0), mm	6 mm × 6 mm
5	Luas penampang mula-mula (A_0), mm ²	36
6	Beban yield (P_y), N	4800
7	Beban Ultimate (P_u), N	7840
8	Beban putus (P_{pts}), N	7680
9	ΔL (yield), mm	0,3
10	ΔL (max), mm	0,64
11	ΔL (putus), mm	0,70

- Tegangan Teknik dan Regangan Teknik

$$L_{yield} = L_0 + \Delta L_y = 100 + 0,3 = 100,3 \text{ mm}$$

$$L_{max} = L_0 + \Delta L_u = 100 + 0,64 = 100,64 \text{ mm}$$

$$L_{pts} = L_0 + \Delta L_{pts} = 100 + 0,7 = 100,7 \text{ mm}$$

- Tegangan Teknik

$$\sigma_{t(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4800}{36} = 133,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(u)} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{7840}{36} = 217,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(pts)} = \frac{P_{pts}}{A_0} = \frac{7680}{36} = 213,3 \text{ N/mm}^2$$

- Regangan Teknik

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,3 - 100}{100} \times 100\% = 0,003$$

$$\varepsilon_u = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,64 - 100}{100} \times 100\% = 0,0064$$

$$\varepsilon_{pts} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,70 - 100}{100} \times 100\% = 0,0070$$

- Kekuatan Tarik Maksimum (UTS)

$$S_u = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{7840}{36} = 217,7 \text{ N/mm}^2$$

- Batas Luluh

$$S_0 = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4800}{36} = 133,3 \text{ N/mm}^2$$

- Modulus Elastis

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{133,3}{0,3\%} = 44433,3 \text{ N/mm}^2 = 44,433 \text{ GPa}$$

- Persentase Perpanjangan

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,70 - 100}{100} \times 100\% = 0,0070$$

- Resilience

$$UR = \frac{1}{2} \times S_0 \times \varepsilon_y = \frac{1}{2} \times 133,3 \times 0,3\% = 19,9 \text{ N/mm}^2$$

- Toughness (Ketangguhan)

$$UT = \frac{S_0 + S_u}{2} \times e_f = \frac{133,3 + 217,7}{2} \times 0,70\% = 122,85 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan dan Regangan Sebenarnya

- ❖ Tegangan sejati pada beban maksimum

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u}$$

Luas penampang pada saat beban maksimum

$$Volume = A_0 \times L_0 = 36 \times 100 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$Volume = A_u \times \text{panjang max} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u \times 100,70 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u = \frac{3600}{100,70} = 35,749 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u} = 217,7 \frac{36}{35,749} = 219,22 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan sejati pada beban maksimum

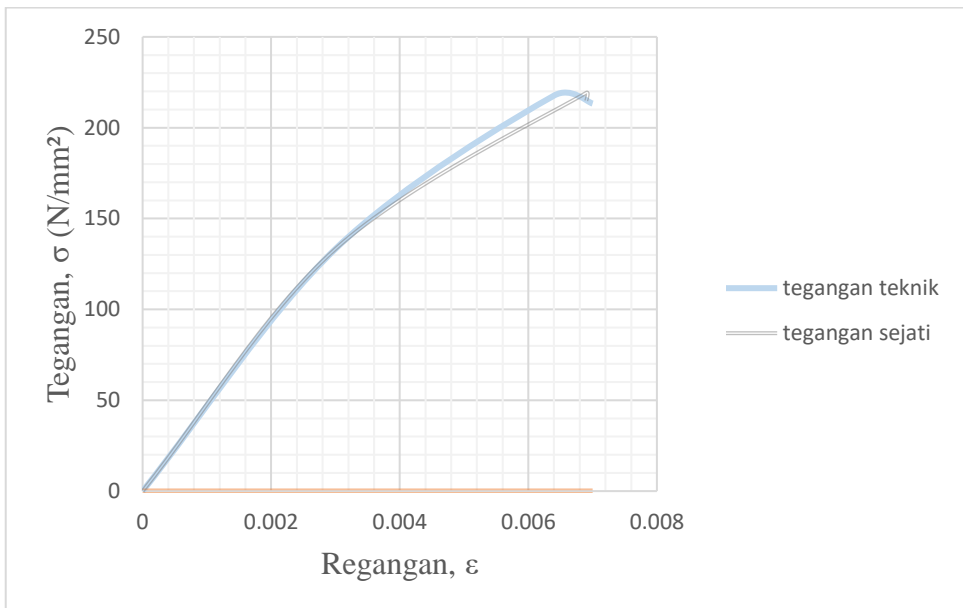
$$\varepsilon_u = \ln \frac{A_0}{A_u} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,749} \times 100\% = 0,0069$$

- ❖ Tegangan patah sejati

$$\sigma_f = \frac{P_{pts}}{A_f} = \frac{7680}{35,749} = 214,83 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan patah sejati

$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,749} \times 100\% = 0,0069$$

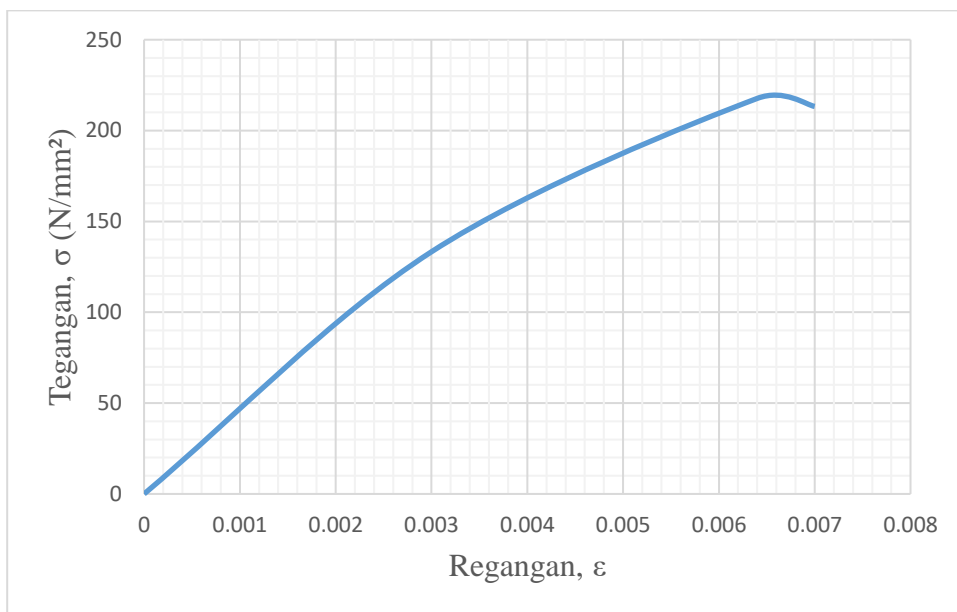


Gambar 4. 9 Tegangan-Regangan Sejati Spesimen B1

Tabel 4. 9 Tegangan-Regangan Spesimen B1

No.	Tegangan dan Regangan Teknik	Hasil
1	Tegangan Teknik (σ yield), N/mm^2	133,3

2	Tegangan Teknik (σ maximum), N/mm ²	217,7
3	Tegangan Teknik (σ putus), N/mm ²	213,3
4	Regangan Teknik (ϵ yield),	0,003
5	Regangan Teknik (ϵ maximum),	0,0064
6	Regangan Teknik (ϵ putus),	0,0070



Gambar 4. 10 Grafik Tegangan dan Regangan Spesimen B1

Tabel 4. 10 Data Hasil Uji Tarik Spesimen B2

No	Spesimen B2	Keterangan
1	Panjang awal (L_0), mm	100
2	Panjang akhir (L_f), mm	100,88
3	Pertambahan panjang (ΔL_{total}), mm	0,88
4	Dimensi awal mula-mula (D_0), mm	6 mm × 6 mm
5	Luas penampang mula-mula (A_0), mm ²	36
6	Beban yield (P_y), N	4000
7	Beban Ultimate (P_u), N	8400
8	Beban putus (P_{pts}), N	7920
9	ΔL (yield), mm	0,23
10	ΔL (max), mm	0,77
11	ΔL (putus), mm	0,88

- Tegangan Teknik dan Regangan Teknik

$$L_{yield} = L_0 + \Delta L_y = 100 + 0,23 = 100,23 \text{ mm}$$

$$L_{max} = L_0 + \Delta L_u = 100 + 0,77 = 100,77 \text{ mm}$$

$$L_{pts} = L_0 + \Delta L_{pts} = 100 + 0,88 = 100,88 \text{ mm}$$

- Tegangan Teknik

$$\sigma_{t(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4000}{36} = 111,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(u)} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{8400}{36} = 233,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(pts)} = \frac{P_{pts}}{A_0} = \frac{7920}{36} = 220 \text{ N/mm}^2$$

- Regangan Teknik

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,23 - 100}{100} \times 100\% = 0,0023$$

$$\varepsilon_u = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,77 - 100}{100} \times 100\% = 0,0077$$

$$\varepsilon_{pts} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,88 - 100}{100} \times 100\% = 0,0088$$

- Kekuatan Tarik Maksimum (UTS)

$$S_u = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{8400}{36} = 233,3 \text{ N/mm}^2$$

- Batas Luluh

$$S_0 = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4000}{36} = 111,1 \text{ N/mm}^2$$

- Modulus Elastis

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{111,1}{0,23\%} = 48304,3 \text{ N/mm}^2 = 48,304 \text{ GPa}$$

- Persentase Perpanjangan

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,88 - 100}{100} \times 100\% = 0,0088$$

- Resilience

$$UR = \frac{1}{2} \times S_0 \times \varepsilon_y = \frac{1}{2} \times 111,1 \times 0,23\% = 12,77 \text{ N/mm}^2$$

- Toughness (Ketangguhan)

$$UT = \frac{S_0 + S_u}{2} \times e_f = \frac{111,1 + 233,3}{2} \times 0,80\% = 137,76 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan dan Regangan Sebenarnya

- ❖ Tegangan sejati pada beban maksimum

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u}$$

Luas penampang pada saat beban maksimum

$$Volume = A_0 \times L_0 = 36 \times 100 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$Volume = A_u \times \text{panjang max} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u \times 100,88 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u = \frac{3600}{100,88} = 35,685 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u} = 233,3 \frac{36}{35,685} = 235,35 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan sejati pada beban maksimum

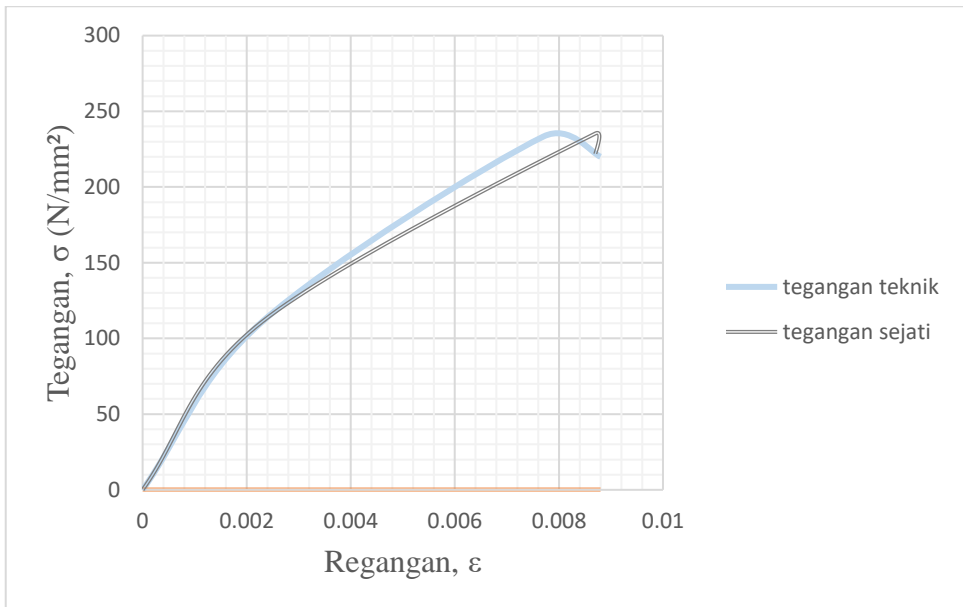
$$\varepsilon_u = \ln \frac{A_0}{A_u} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,685} \times 100\% = 0,0087$$

- ❖ Tegangan patah sejati

$$\sigma_f = \frac{P_{pts}}{A_f} = \frac{7920}{35,685} = 221,94 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan patah sejati

$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,685} \times 100\% = 0,0087$$

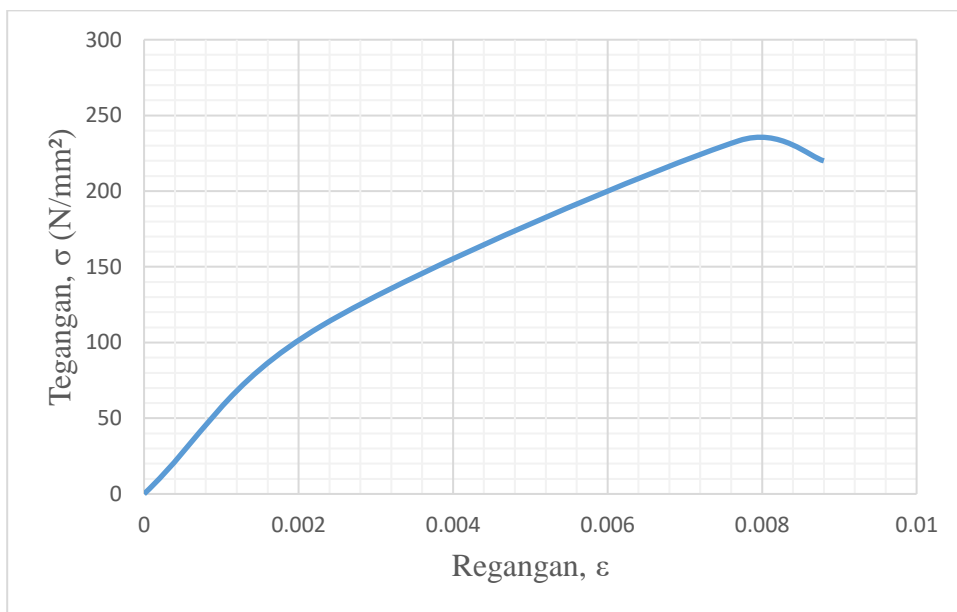


Gambar 4. 11 Tegangan-Regangan Sejati Spesimen B2

Tabel 4. 11 Tegangan-Regangan Spesimen B2

No.	Tegangan dan Regangan Teknik	Hasil
1	Tegangan Teknik (σ yield), N/mm ²	111,1

2	Tegangan Teknik (σ maximum), N/mm ²	233,3
3	Tegangan Teknik (σ putus), N/mm ²	220
4	Regangan Teknik (ϵ yield),	0,0023
5	Regangan Teknik (ϵ maximum),	0,0077
6	Regangan Teknik (ϵ putus),	0,0088



Gambar 4. 12 Grafik Tegangan dan Regangan Spesimen B2

Tabel 4. 12 Data Hasil Uji Tarik Spesimen B3

No	Spesimen B3	Keterangan
1	Panjang awal (L_0), mm	100
2	Panjang akhir (L_f), mm	100,72
3	Pertambahan panjang (ΔL_{total}), mm	0,72
4	Dimensi awal mula-mula (D_0), mm	6 mm × 6 mm
5	Luas penampang mula-mula (A_0), mm ²	36
6	Beban yield (P_y), N	4400
7	Beban Ultimate (P_u), N	7440
8	Beban putus (P_{pts}), N	7040
9	ΔL (yield), mm	0,22
10	ΔL (max), mm	0,63
11	ΔL (putus), mm	0,72

- Tegangan Teknik dan Regangan Teknik

$$L_{yield} = L_0 + \Delta L_y = 100 + 0,22 = 100,22 \text{ mm}$$

$$L_{max} = L_0 + \Delta L_u = 100 + 0,63 = 100,63 \text{ mm}$$

$$L_{pts} = L_0 + \Delta L_{pts} = 100 + 0,72 = 100,72 \text{ mm}$$

- Tegangan Teknik

$$\sigma_{t(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4400}{36} = 122,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(u)} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{7440}{36} = 206,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(pts)} = \frac{P_{pts}}{A_0} = \frac{7040}{36} = 195,5 \text{ N/mm}^2$$

- Regangan Teknik

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,22 - 100}{1000} \times 100\% = 0,0022$$

$$\varepsilon_u = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,63 - 100}{100} \times 100\% = 0,0063$$

$$\varepsilon_{pts} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,72 - 100}{100} \times 100\% = 0,00072$$

- Kekuatan Tarik Maksimum (UTS)

$$S_u = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{7440}{36} = 206,6 \text{ N/mm}^2$$

- Batas Luluh

$$S_0 = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4400}{36} = 122,2 \text{ N/mm}^2$$

- Modulus Elastis

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{122,2}{0,22\%} = 55545,4 \text{ N/mm}^2 = 55,545 \text{ GPa}$$

- Persentase Perpanjangan

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,72 - 100}{100} \times 100\% = 0,0072$$

- Resilience

$$UR = \frac{1}{2} \times S_0 \times \varepsilon_y = \frac{1}{2} \times 122,2 \times 0,22\% = 13,44 \text{ N/mm}^2$$

- Toughness (Ketangguhan)

$$UT = \frac{S_0 + S_u}{2} \times e_f = \frac{122,2 + 206,6}{2} \times 0,72\% = 118,3 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan dan Regangan Sebenarnya

- ❖ Tegangan sejati pada beban maksimum

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u}$$

Luas penampang pada saat beban maksimum

$$Volume = A_0 \times L_0 = 36 \times 100 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$Volume = A_u \times \text{panjang max} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u + 100,72 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u = \frac{3600}{100,72} = 35,742 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u} = 206,6 \frac{36}{35,742} = 208,09 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan sejati pada beban maksimum

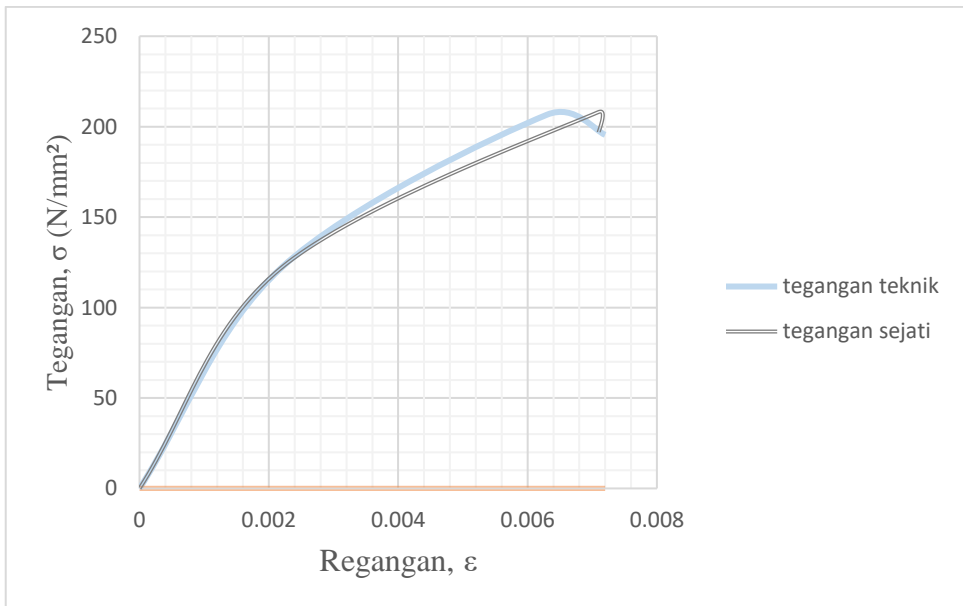
$$\varepsilon_u = \ln \frac{A_0}{A_u} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,742} \times 100\% = 0,0071$$

- ❖ Tegangan patah sejati

$$\sigma_f = \frac{P_{pts}}{A_f} = \frac{7040}{35,742} = 196,96 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan patah sejati

$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,742} \times 100\% = 0,0071$$

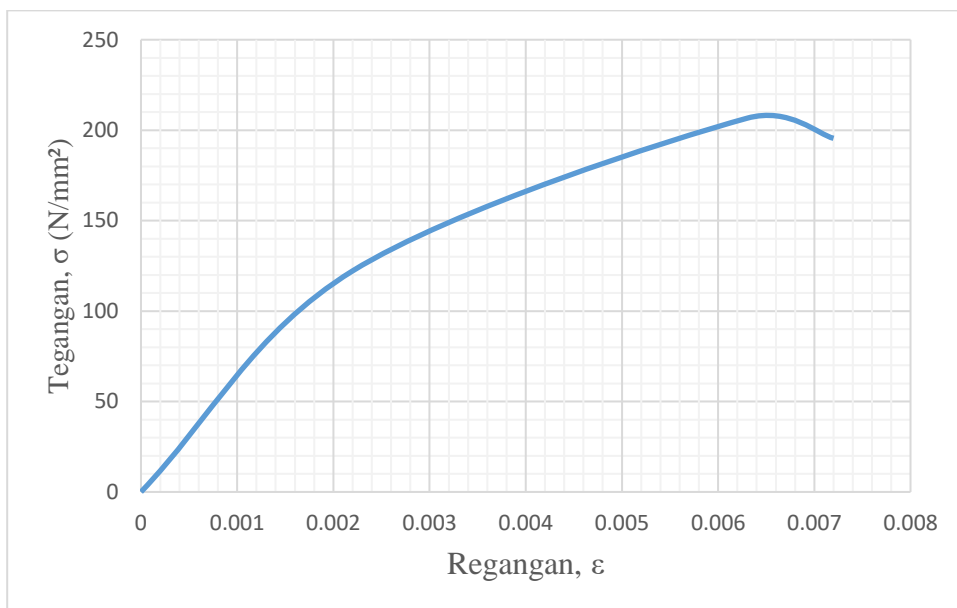


Gambar 4. 13 Tegangan-Regangan Sejati Spesimen B3

Tabel 4. 13 Tegangan-Regangan Spesimen B3

No.	Tegangan dan Regangan Teknik	Hasil
1	Tegangan Teknik (σ yield), N/mm ²	122,2

2	Tegangan Teknik (σ maximum), N/mm ²	206,6
3	Tegangan Teknik (σ putus), N/mm ²	195,5
4	Regangan Teknik (ϵ yield),	0,0022
5	Regangan Teknik (ϵ maximum),	0,0063
6	Regangan Teknik (ϵ putus),	0,0072



Gambar 4. 14 Grafik Tegangan dan Regangan Spesimen B3

Tabel 4. 14 Data Hasil Uji Tarik Spesimen C1

No	Spesimen C1	Keterangan
1	Panjang awal (L_0), mm	100
2	Panjang akhir (L_f), mm	100,48
3	Pertambahan panjang (ΔL_{total}), mm	0,48
4	Dimensi awal mula-mula (D_0), mm	6 mm × 6 mm
5	Luas penampang mula-mula (A_0), mm ²	36
6	Beban yield (P_y), N	5040
7	Beban Ultimate (P_u), N	6720
8	Beban putus (P_{pts}), N	6480
9	ΔL (yield), mm	0,14
10	ΔL (max), mm	0,43
11	ΔL (putus), mm	0,48

- Tegangan Teknik dan Regangan Teknik

$$L_{yield} = L_0 + \Delta L_y = 100 + 0,14 = 100,14 \text{ mm}$$

$$L_{max} = L_0 + \Delta L_u = 100 + 0,43 = 100,43 \text{ mm}$$

$$L_{pts} = L_0 + \Delta L_{pts} = 100 + 0,48 = 100,48 \text{ mm}$$

- Tegangan Teknik

$$\sigma_{t(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{5040}{36} = 140 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(u)} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6720}{36} = 186,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(pts)} = \frac{P_{pts}}{A_0} = \frac{6480}{36} = 180 \text{ N/mm}^2$$

- Regangan Teknik

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,14 - 100}{100} \times 100\% = 0,0014$$

$$\varepsilon_u = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,43 - 100}{100} \times 100\% = 0,0043$$

$$\varepsilon_{pts} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,48 - 100}{100} \times 100\% = 0,0048$$

- Kekuatan Tarik Maksimum (UTS)

$$S_u = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{6720}{36} = 186,6 \text{ N/mm}^2$$

- Batas Luluh

$$S_0 = \frac{P_y}{A_0} = \frac{5040}{36} = 140 \text{ N/mm}^2$$

- Modulus Elastis

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{140}{0,14\%} = 100000 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ GPa}$$

- Persentase Perpanjangan

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,48 - 100}{100} \times 100\% = 0,0048$$

- Resilience

$$UR = \frac{1}{2} \times S_0 \times \varepsilon_y = \frac{1}{2} \times 140 \times 0,14\% = 9,8 \text{ N/mm}^2$$

- Toughness (Ketangguhan)

$$UT = \frac{S_0 + S_u}{2} \times e_f = \frac{140 + 186,6}{2} \times 0,48\% = 78,38 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan dan Regangan Sebenarnya

- ❖ Tegangan sejati pada beban maksimum

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u}$$

Luas penampang pada saat beban maksimum

$$Volume = A_0 \times L_0 = 36 \times 100 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$Volume = A_u \times \text{panjang max} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u + 100,48 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u = \frac{3600}{100,48} = 35,820 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u} = 186,6 \frac{36}{35,820} = 187,53 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan sejati pada beban maksimum

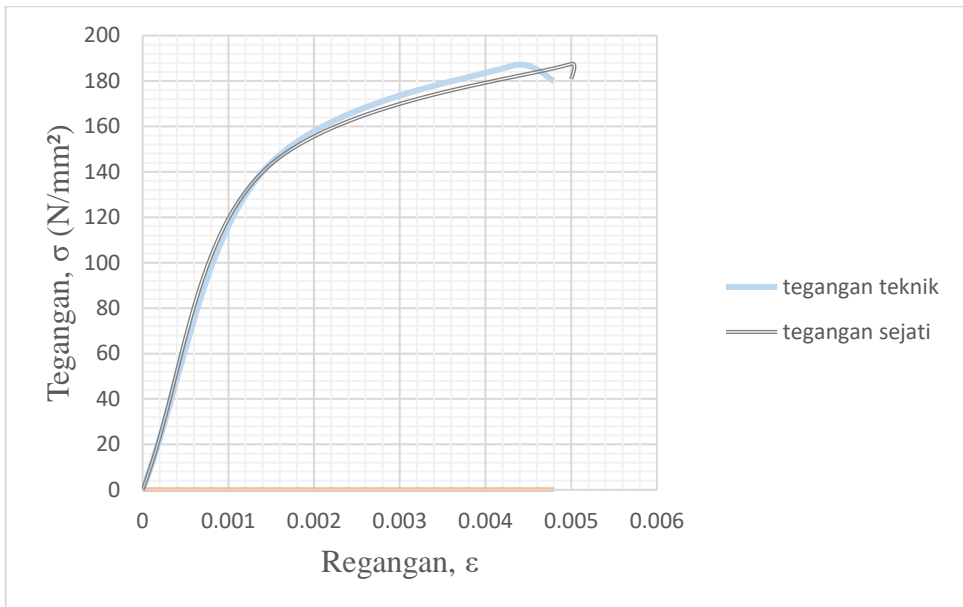
$$\varepsilon_u = \ln \frac{A_0}{A_u} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,820} \times 100\% = 0,0050$$

- ❖ Tegangan patah sejati

$$\sigma_f = \frac{P_{pts}}{A_f} = \frac{6480}{35,820} = 180,90 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan patah sejati

$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,820} \times 100\% = 0,0050$$

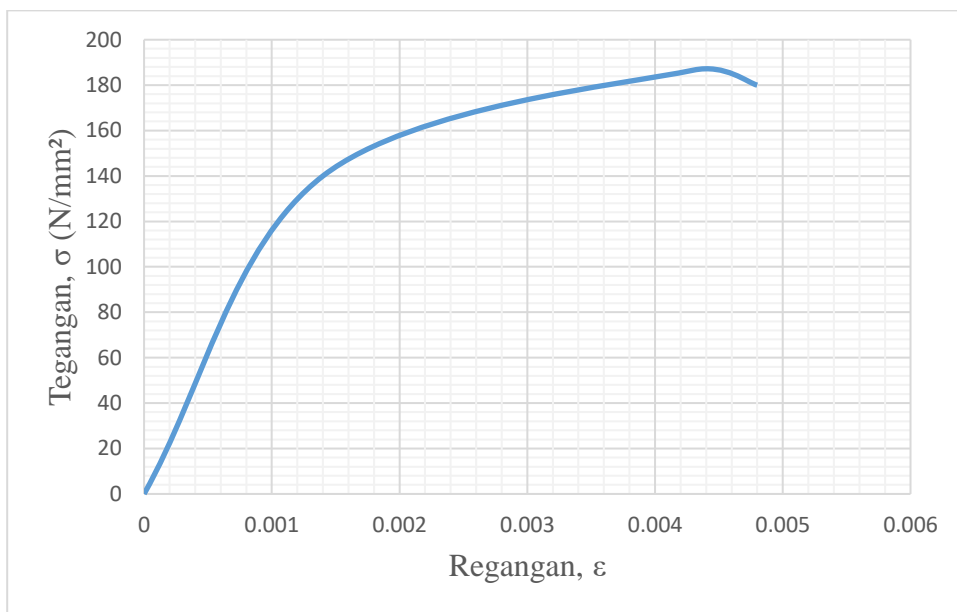


Gambar 4. 15 Tegangan-Regangan Sejati Spesimen C1

Tabel 4. 15 Tegangan-Regangan Spesimen C1

No.	Tegangan dan Regangan Teknik	Hasil
1	Tegangan Teknik (σ yield), N/mm ²	140

2	Tegangan Teknik (σ maximum), N/mm ²	186,6
3	Tegangan Teknik (σ putus), N/mm ²	180
4	Regangan Teknik (ϵ yield),	0,0014
5	Regangan Teknik (ϵ maximum),	0,0043
6	Regangan Teknik (ϵ putus),	0,0048



Gambar 4. 16 Grafik Tegangan dan Regangan Spesimen C1

Tabel 4. 16 Data Hasil Uji Tarik Spesimen C2

No	Spesimen C2	Keterangan
1	Panjang awal (L_0), mm	100
2	Panjang akhir (L_f), mm	100,14
3	Pertambahan panjang (ΔL_{total}), mm	0,14
4	Dimensi awal mula-mula (D_0), mm	6 mm × 6 mm
5	Luas penampang mula-mula (A_0), mm ²	36
6	Beban yield (P_y), N	4120
7	Beban Ultimate (P_u), N	7520
8	Beban putus (P_{pts}), N	7200
9	ΔL (yield), mm	0,03
10	ΔL (max), mm	0,13
11	ΔL (putus), mm	0,14

- Tegangan Teknik dan Regangan Teknik

$$L_{yield} = L_0 + \Delta L_y = 100 + 0,03 = 100,03 \text{ mm}$$

$$L_{max} = L_0 + \Delta L_u = 100 + 0,13 = 100,13 \text{ mm}$$

$$L_{pts} = L_0 + \Delta L_{pts} = 100 + 0,14 = 100,14 \text{ mm}$$

- Tegangan Teknik

$$\sigma_{t(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4120}{36} = 114,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(u)} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{7520}{36} = 208,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(pts)} = \frac{P_{pts}}{A_0} = \frac{7200}{36} = 200 \text{ N/mm}^2$$

- Regangan Teknik

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,03 - 100}{100} \times 100\% = 0,0003$$

$$\varepsilon_u = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,13 - 100}{100} \times 100\% = 0,0013$$

$$\varepsilon_{pts} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,14 - 100}{100} \times 100\% = 0,0014$$

- Kekuatan Tarik Maksimum (UTS)

$$S_u = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{7520}{36} = 208,8 \text{ N/mm}^2$$

- Batas Luluh

$$S_0 = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4120}{36} = 114,4 \text{ N/mm}^2$$

- Modulus Elastis

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{114,4}{0,03\%} = 381333 \text{ N/mm}^2 = 381,3 \text{ GPa}$$

- Persentase Perpanjangan

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,14 - 100}{100} \times 100\% = 0,0014$$

- Resilience

$$UR = \frac{1}{2} \times S_0 \times \varepsilon_y = \frac{1}{2} \times 114,4 \times 0,03\% = 1,716 \text{ N/mm}^2$$

- Toughness (Ketangguhan)

$$UT = \frac{S_0 + S_u}{2} \times e_f = \frac{114,4 + 208,8}{2} \times 0,14\% = 22,624 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan dan Regangan Sebenarnya

- ❖ Tegangan sejati pada beban maksimum

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u}$$

Luas penampang pada saat beban maksimum

$$Volume = A_0 \times L_0 = 36 \times 100 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$Volume = A_u \times \text{panjang max} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u + 100,14 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u = \frac{3600}{100,14} = 35,949 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u} = 208,8 \frac{36}{35,949} = 209,09 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan sejati pada beban maksimum

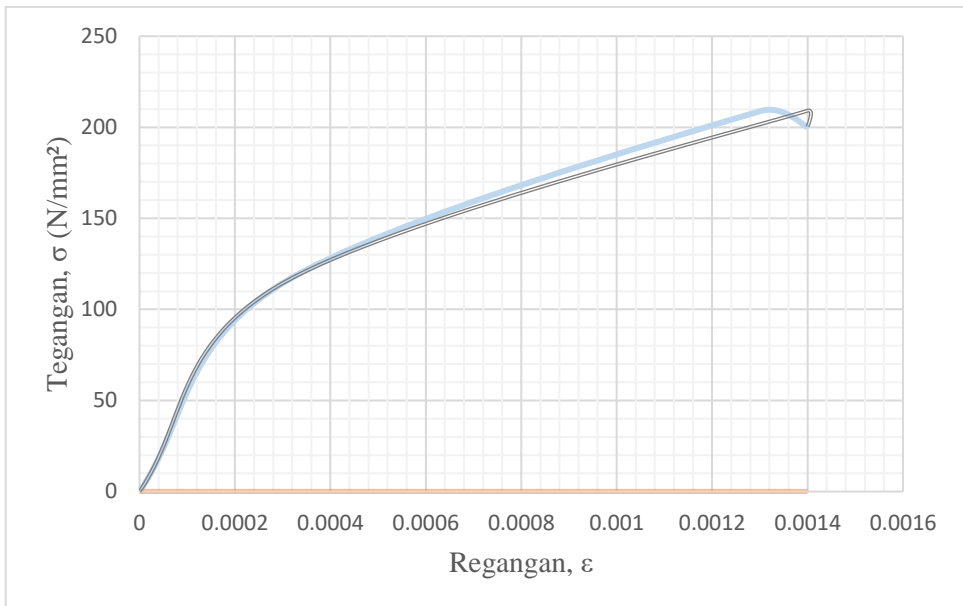
$$\varepsilon_u = \ln \frac{A_0}{A_u} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,949} \times 100\% = 0,0014$$

- ❖ Tegangan patah sejati

$$\sigma_f = \frac{P_{pts}}{A_f} = \frac{7200}{35,949} = 200,28 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan patah sejati

$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,949} \times 100\% = 0,0014$$

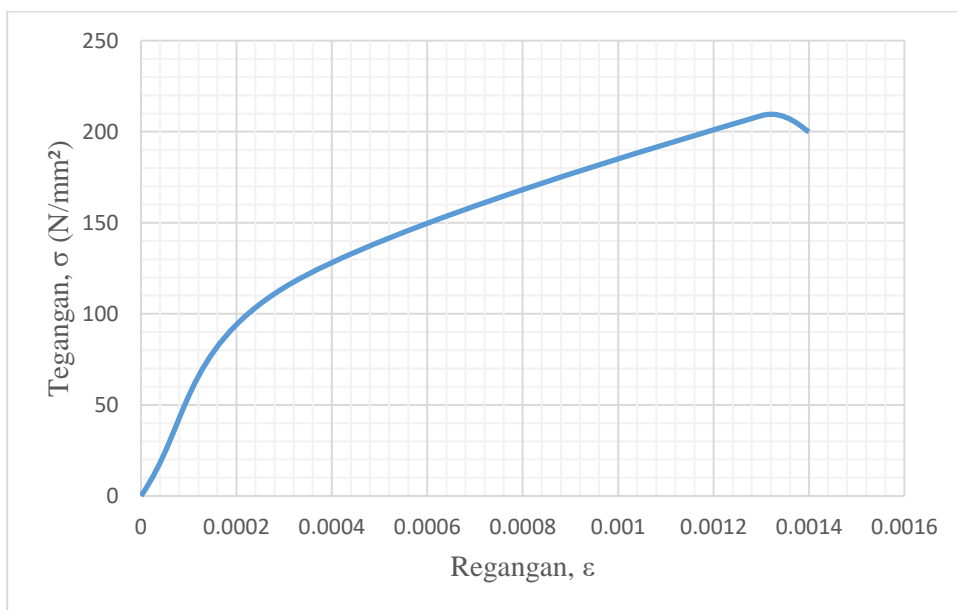


Gambar 4. 17 Tegangan-Regangan Sejati Spesimen C2

Tabel 4. 17 Tegangan-Regangan Spesimen C2

No.	Tegangan dan Regangan Teknik	Hasil
1	Tegangan Teknik (σ yield), N/mm ²	114,4

2	Tegangan Teknik (σ maximum), N/mm ²	208,8
3	Tegangan Teknik (σ putus), N/mm ²	200
4	Regangan Teknik (ϵ yield),	0,0003
5	Regangan Teknik (ϵ maximum),	0,0013
6	Regangan Teknik (ϵ putus),	0,0014



Gambar 4. 5 Grafik Tegangan dan Regangan Spesimen C2

Tabel 4. 18 Data Hasil Uji Tarik Spesimen C3

No	Spesimen C3	Keterangan
1	Panjang awal (L_0), mm	100
2	Panjang akhir (L_f), mm	100,60
3	Pertambahan panjang (ΔL_{total}), mm	0,60
4	Dimensi awal mula-mula (D_0), mm	6 mm × 6 mm
5	Luas penampang mula-mula (A_0), mm ²	36
6	Beban yield (P_y), N	4800
7	Beban Ultimate (P_U), N	7760
8	Beban putus (P_{pts}), N	7440
9	ΔL (yield), mm	0,2
10	ΔL (max), mm	0,57
11	ΔL (putus), mm	0,60

- Tegangan Teknik dan Regangan Teknik

$$L_{yield} = L_0 + \Delta L_y = 100 + 0,2 = 100,2 \text{ mm}$$

$$L_{max} = L_0 + \Delta L_u = 100 + 0,57 = 100,57 \text{ mm}$$

$$L_{pts} = L_0 + \Delta L_{pts} = 100 + 0,60 = 100,60 \text{ mm}$$

- Tegangan Teknik

$$\sigma_{t(y)} = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4800}{36} = 133,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(u)} = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{7760}{36} = 215,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t(pts)} = \frac{P_{pts}}{A_0} = \frac{7440}{36} = 206,6 \text{ N/mm}^2$$

- Regangan Teknik

$$\varepsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,2 - 100}{100} \times 100\% = 0,002$$

$$\varepsilon_u = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,57 - 100}{100} \times 100\% = 0,0057$$

$$\varepsilon_{pts} = \frac{L_{pts} - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,60 - 100}{100} \times 100\% = 0,0060$$

- Kekuatan Tarik Maksimum (UTS)

$$S_u = \frac{P_{max}}{A_0} = \frac{7760}{36} = 215,5 \text{ N/mm}^2$$

- Batas Luluh

$$S_0 = \frac{P_y}{A_0} = \frac{4800}{36} = 133,3 \text{ N/mm}^2$$

- Modulus Elastis

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{133,3}{0,2\%} = 66650 \text{ N/mm}^2 = 66,650 \text{ GPa}$$

- Persentase Perpanjangan

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{100,60 - 100}{100} \times 100\% = 0,0060$$

- Resilience

$$UR = \frac{1}{2} \times S_0 \times \varepsilon_y = \frac{1}{2} \times 133,3 \times 0,2 = 13,33 \text{ N/mm}^2$$

- Toughness (Ketangguhan)

$$UT = \frac{S_0 + S_u}{2} \times e_f = \frac{133,3 + 215,5}{2} \times 0,60\% = 104,64 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan dan Regangan Sebenarnya

- ❖ Tegangan sejati pada beban maksimum

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u}$$

Luas penampang pada saat beban maksimum

$$Volume = A_0 \times L_0 = 36 \times 100 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$Volume = A_u \times \text{panjang max} = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u \times 100,60 = 3600 \text{ mm}^2$$

$$A_u = \frac{3600}{100,60} = 35,785 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_u = S_u \frac{A_0}{A_u} = 215,5 \frac{36}{35,785} = 216,79 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan sejati pada beban maksimum

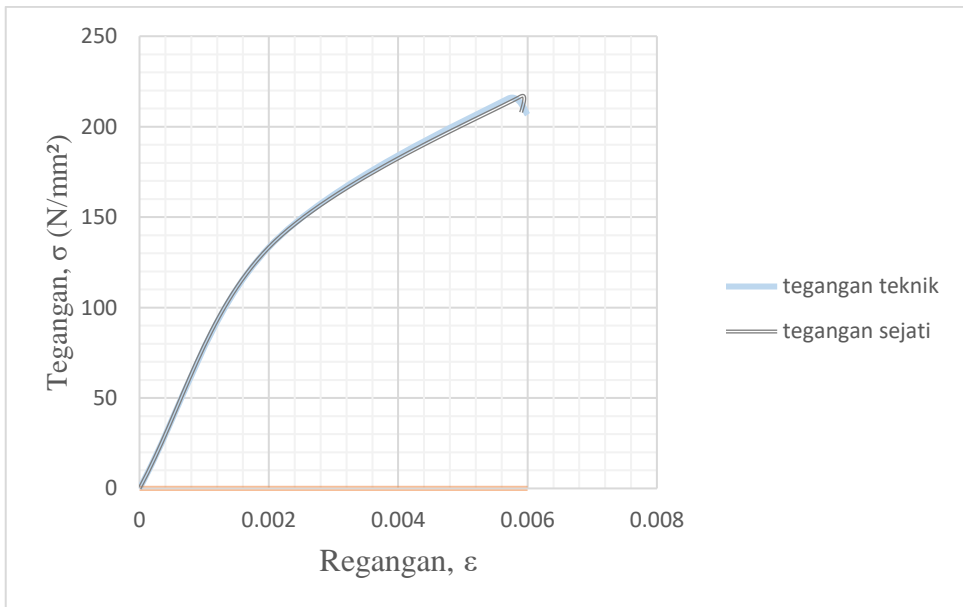
$$\varepsilon_u = \ln \frac{A_0}{A_u} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,785} \times 100\% = 0,0059$$

- ❖ Tegangan patah sejati

$$\sigma_f = \frac{P_{pts}}{A_f} = \frac{7440}{35,785} = 207,90 \text{ N/mm}^2$$

- ❖ Regangan patah sejati

$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} \times 100\% = \ln \frac{36}{35,785} \times 100\% = 0,0059$$

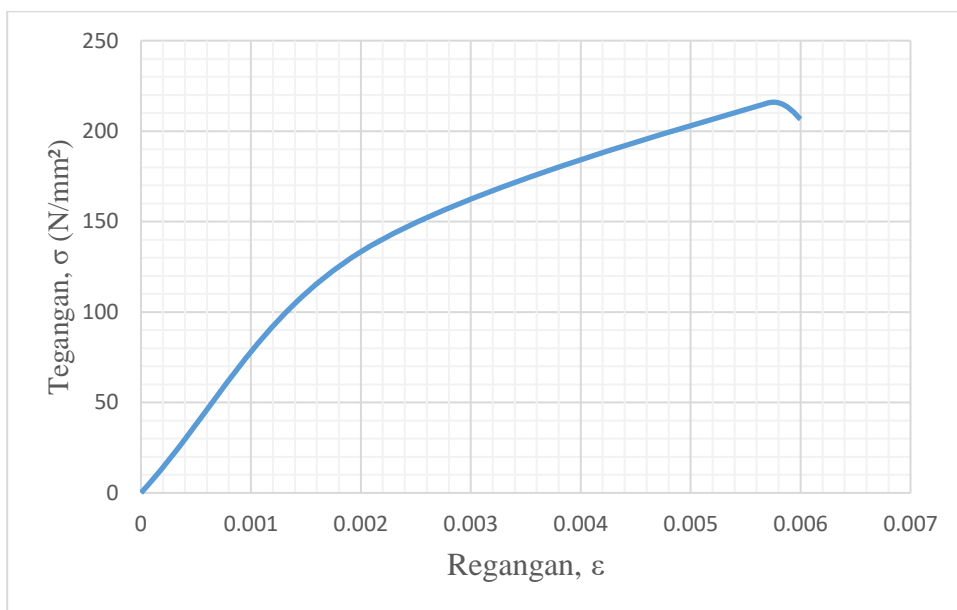


Gambar 4. 19 Tegangan-Regangan Sejati Spesimen C3

Tabel 4. 19 Tegangan-Regangan Spesimen C3

No.	Tegangan dan Regangan Teknik	Hasil
1	Tegangan Teknik (σ yield), N/mm ²	133,3

2	Tegangan Teknik (σ maximum), N/mm ²	215,5
3	Tegangan Teknik (σ putus), N/mm ²	206,6
4	Regangan Teknik (ϵ yield),	0,002
5	Regangan Teknik (ϵ maximum),	0,0057
6	Regangan Teknik (ϵ putus),	0,0060



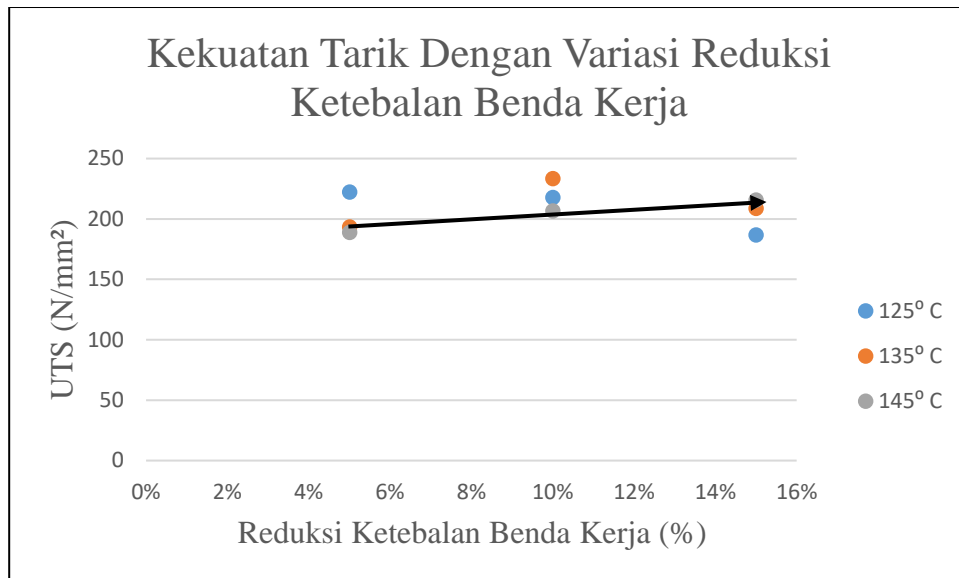
Gambar 4. 20 Grafik Tegangan dan Regangan Spesimen C3

Tabel 4. 20 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tarik

Data	Spesimen								
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Beban Yield (N)	4960	4560	4400	4800	4000	4400	5040	4120	4800
Beban Ultimate (N)	8000	6960	6800	7840	8400	7440	6720	7520	7760
Beban Putus (N)	7680	6480	6160	7680	7920	7040	6480	7200	7440
Data Perhitungan									
Yield Strength (N/mm ²)	137,7	126,6	122,2	133,3	111,1	122,2	140	114,4	133,3
Ultimate Tensile Strength (N/mm ²)	222,2	193,3	188,8	217,7	233,3	206,6	186,6	208,8	215,5

4. 1. 1. 1. Analisa Data Hasil Uji Tarik

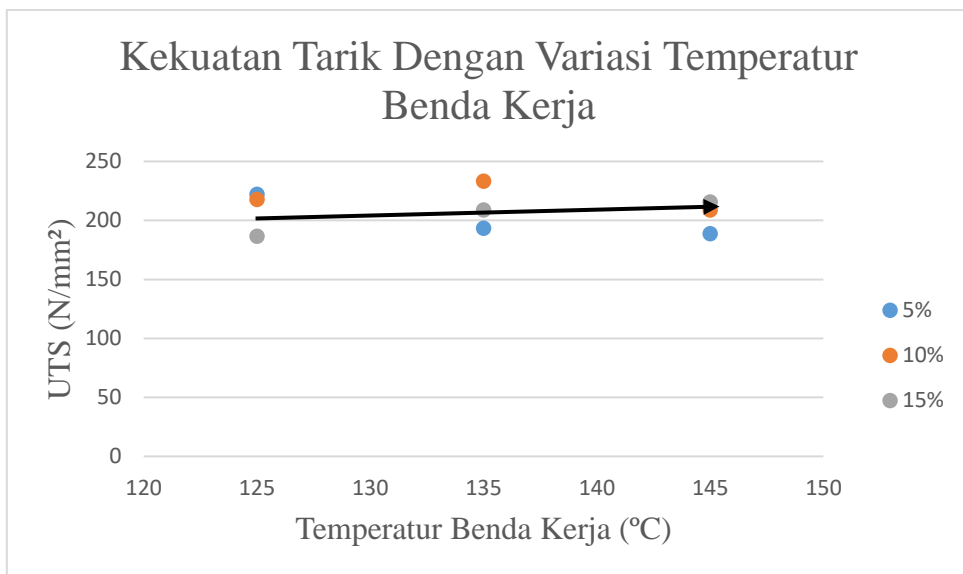
Pada grafik hasil uji tarik akan dijelaskan hasil pengaruh variasi reduksi ketebalan dan temperatur benda kerja.



Gambar 4. 21 Grafik Pengaruh Variasi Reduksi Ketebalan Benda Kerja Terhadap Kekuatan Tarik

Keterangan : tanda panah hitam menunjukkan garis resultan pada grafik

Dari gambar 4. 19 grafik hasil pengujian tarik diatas menunjukkan pengaruh reduksi ketebalan terhadap kekuatan tarik, dimana garis resultant ketiga garis tersebut cenderung mengalami kenaikan, penyebabnya adalah adanya rekristalisasi dinamis ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (G. N. Lokesh, dkk, 2014) menunjukkan bahwa sifat mekanik bahan mengalami peningkatan karena struktur butiran halus selama pengurangan ketebalan, ini disebabkan karena semakin tinggi reduksi ketebalan benda kerja mengakibatkan rekristalisasi dinamis lengkap terjadi mekanisme untuk evolusi butir bimodal dimana pembentukan butiran halus diyakini disebabkan oleh pengurangan ketebalan berturut turut komposit.

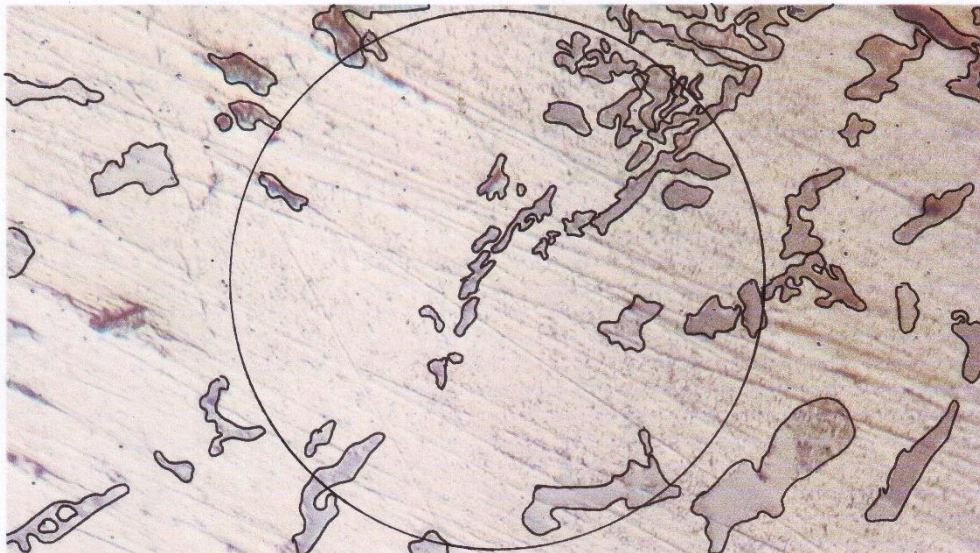


Gambar 4. 22 Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Benda Kerja Terhadap Kekuatan Tarik

Dari gambar 4. 20 diatas menunjukkan pengaruh temperatur benda kerja terhadap kekuatan tarik, dimana garis resultant ketiga garis tersebut mengalami kenaikan. Penyebabnya adalah adanya proses *hot-working* yang terjadi pada bahan sebelum dilakukan pengujian. *Hot-working* tidak hanya menghasilkan penurunan energi yang diperlukan untuk mendeformasi logam dan peningkatan kemampuan untuk mengalir tanpa retak, tetapi difusi cepat pada suhu kerja panas membantu dalam mengurangi ketidakhomogenan kimiawi dari struktur cor-ingot. Rongga gas dan porositas dieliminasi oleh pengelasan bersama rongga-rongga ini, dan butiran kolumnar kasar dari coran dipecah dan dimurnikan menjadi butiran rekristalisasi yang sama kecil. Perubahan-perubahan dalam struktur dari kerja panas ini menghasilkan peningkatan daktilitas dan ketangguhan pada kondisi cetakan ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Jiashi Miao, dkk, 2020) kompresi panas dengan kisaran suhu 250, 300, 350, 400, 450 °C yang menunjukkan bahwa pemulihan dinamis adalah mekanisme pelunakan pada suhu dibawah 450 °C sedangkan pada suhu 450 °C rekristalisasi dinamis yang luas terjadi pada struktur mikro yang mengarah pada penyempurnaan signifikan struktur mikro. Menurut (Tao Zhang, dkk, 2017) menunjukkan bahwa rekristalisasi dinamis memainkan peran penting dalam perbaikan butir dalam deformasi panas. Menurut (Yu Borisova, dkk, 2019) rekristalisasi dinamik adalah mekanisme penting yang mengendalikan pembentukan struktur mikro berbutir halus untuk mendapatkan properti yang diperlukan dalam berbagai bahan.

4. 1. 2 Uji Strukturmikro

4. 1. 2. 1 Perhitungan Ukuran Butir



Gambar 4. 23 Strukturmikro Spesimen A1

Diketahui : $n_1 = 26$ $n_2 = 10$ $f = 50,0$

- $(N_a) = f(n_1 + n_2/2)$
 $= 50 (26 + 10/2)$
 $= 1550$
- $G = [3,22 \log(N_a)] - 2,95$
 $= [3,22 \log (1550) - 2,95]$
 $= 7,64$

Perhitungan yang dihasilkan diinterpolasi untuk mencari nilai tengah, dari tabel ASTM E-112 diketahui nilai X_1, Y_1, X_2, Y_2 :

$$X_1 = 7,5 \qquad Y_1 = 26,7$$

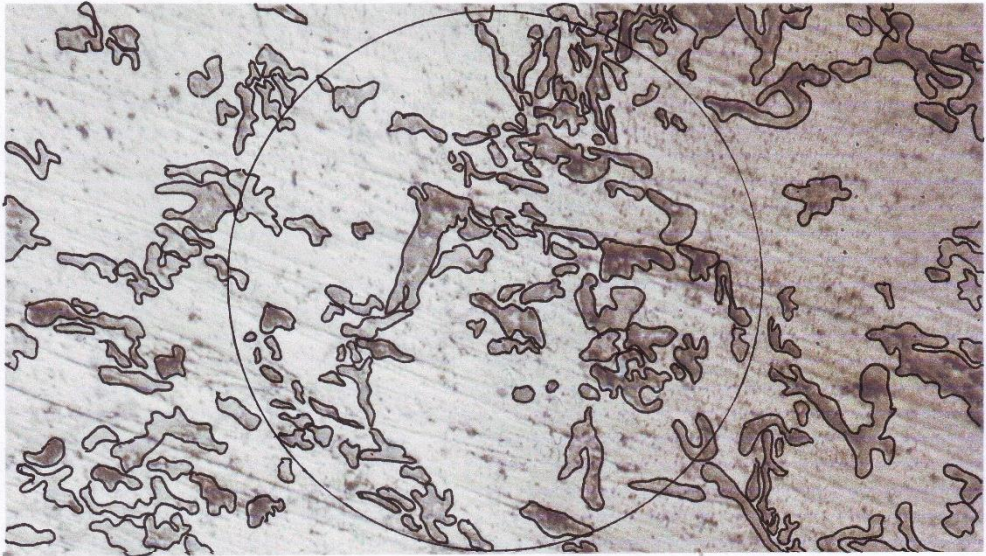
$$X_2 = 8,0 \qquad Y_2 = 22,5$$

$$X = 7,64 \qquad Y = ?$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Y} &= Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)} (Y_2 - Y_1) \\ &= 26,7 + \frac{(7,64-7,5)}{(8,0-7,5)} (22,5 - 26,7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 26,7 + \frac{(0,14)}{(0,5)} (-4,2) \\ &= 26,7 - 1,176 = \underline{25,52} \end{aligned}$$

Dari Tabel ASTM E-112 nilai $G = 7,64$ diperoleh diameter rata-rata butiran sebesar $25,52 \mu\text{m}$.



Gambar 4. 24 Strukturmikro Spesimen A2

Diketahui : $n_1 = 78$ $n_2 = 12$ $f = 50,0$

- $(N_a) = f(n_1 + n_2/2)$
 $= 50 (78 + 12/2)$
 $= 4200$
- $G = [3,22 \log(N_a)] - 2,95$
 $= [3,22 \log (4200) - 2,95]$
 $= 9,08$

Perhitungan yang dihasilkan diinterpolasi untuk mencari nilai tengah, dari tabel ASTM E-112 diketahui nilai X_1, Y_1, X_2, Y_2 :

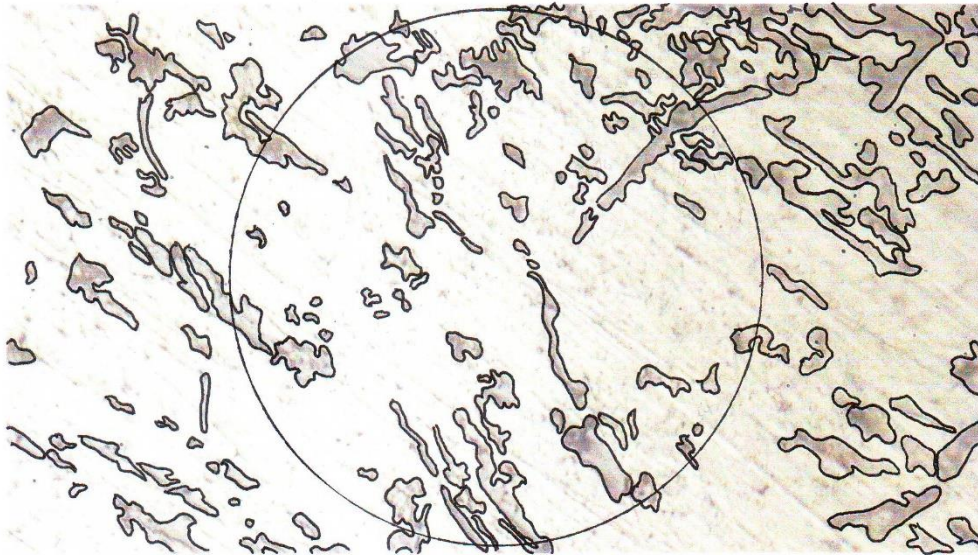
$$X_1 = 9,0 \qquad Y_1 = 15,9$$

$$X_2 = 9,5 \qquad Y_2 = 13,3$$

$$X = 9,08 \qquad Y = ?$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai } Y &= Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)}(Y_2 - Y_1) \\ &= 15,9 + \frac{(9,08-9,0)}{(9,5-9,0)}(13,3 - 15,9) \\ &= 15,9 + \frac{(0,08)}{(0,5)}(-2,6) \\ &= 15,9 - 0,416 = \underline{14,67}\end{aligned}$$

Dari Tabel ASTM E-112 nilai $G = 9,08$ diperoleh diameter rata-rata butiran sebesar $14,67 \mu\text{m}$.



Gambar 4. 25 Strukturmikro Spesimen A3

Diketahui : $n_1 = 58$ $n_2 = 15$ $f = 50,0$

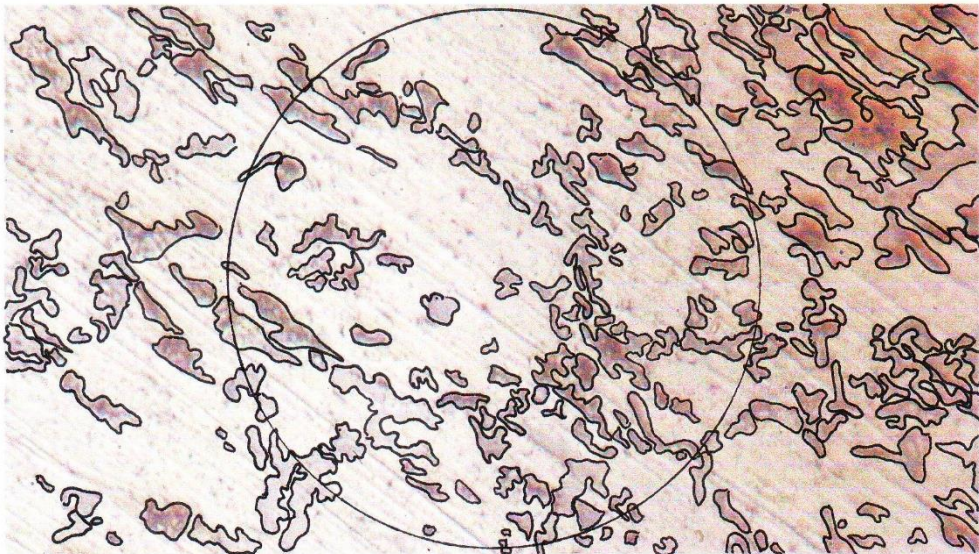
- $(N_a) = f(n_1 + n_2/2)$
 $= 50 (58 + 15/2)$
 $= 3278$
- $G = [3,22 \log(N_a)] - 2,95$
 $= [3,22 \log (3278) - 2,95]$
 $= 8,72$

Perhitungan yang dihasilkan diinterpolasi untuk mencari nilai tengah, dari tabel ASTM E-112 diketahui nilai X_1, Y_1, X_2, Y_2 :

$$X_1 = 8,5 \qquad Y_1 = 18,9$$

$$\begin{aligned} X_2 &= 9,0 & Y_2 &= 15,9 \\ X &= 8,72 & Y &= ? \\ \text{Nilai Y} &= Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)} (Y_2 - Y_1) \\ &= 18,9 + \frac{(8,72-8,5)}{(9,0-8,5)} (15,9 - 18,9) \\ &= 18,9 + \frac{(0,22)}{(0,5)} (-3) \\ &= 18,9 - 1,32 = \underline{17,58} \end{aligned}$$

Dari Tabel ASTM E-112 nilai $G = 8,72$ diperoleh diameter rata-rata butiran sebesar $17,58 \mu\text{m}$.



Gambar 4. 26 Strukturmikro Spesimen B1

Diketahui : $n_1 = 84$ $n_2 = 19$ $f = 50,0$

- $(N_a) = f(n_1 + n_2/2)$
 $= 50 (84 + 19/2)$
 $= 4675$
- $G = [3,22 \log(N_a)] - 2,95$
 $= [3,22 \log (4675)] - 2,95$
 $= 9,24$

Perhitungan yang dihasilkan diinterpolasi untuk mencari nilai tengah, dari tabel ASTM E-112 diketahui nilai X_1 , Y_1 , X_2 , Y_2 :

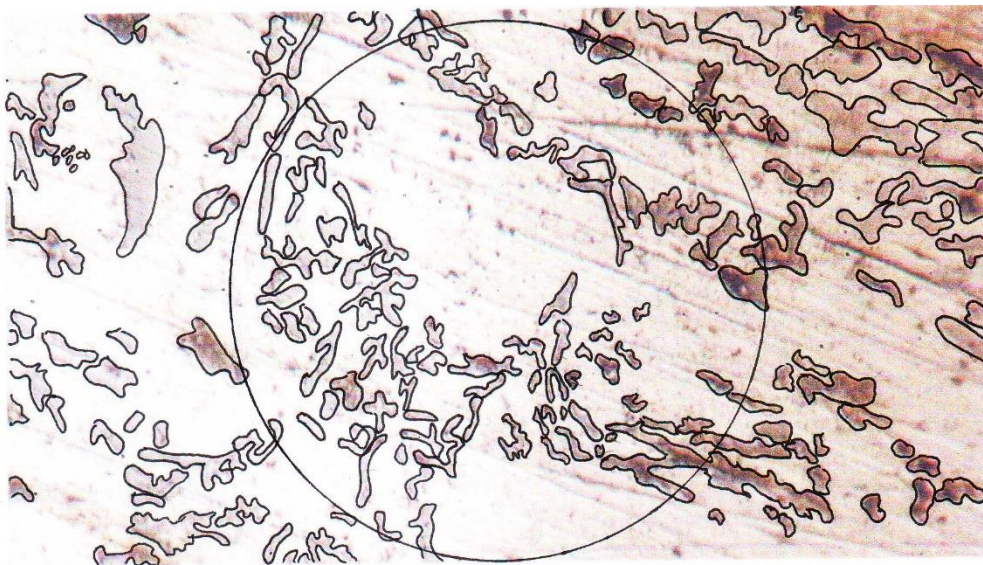
$$X_1 = 9,0 \qquad Y_1 = 15,9$$

$$X_2 = 9,5 \qquad Y_2 = 13,3$$

$$X = 9,24 \qquad Y = ?$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Y} &= Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)}(Y_2 - Y_1) \\ &= 15,9 + \frac{(9,24-9,0)}{(9,5-9,0)}(13,3 - 15,9) \\ &= 15,9 + \frac{(0,24)}{(0,5)}(-2,6) \\ &= 15,9 - 1,248 = \underline{14,65} \end{aligned}$$

Dari Tabel ASTM E-112 nilai $G = 9,24$ diperoleh diameter rata-rata butiran sebesar $14,65 \mu\text{m}$.



Gambar 4. 27 Strukturmikro Spesimen B2

Diketahui : $n_1 = 77$ $n_2 = 17$ $f = 50,0$

- $(N_a) = f(n_1 + n_2/2)$
 $= 50 (77 + 17/2)$

$$\begin{aligned} &= 4275 \\ \bullet \text{ G} &= [3,22 \log(N_a)] - 2,95 \\ &= [3,22 \log(4275) - 2,95] \\ &= 9,11 \end{aligned}$$

Perhitungan yang dihasilkan diinterpolasi untuk mencari nilai tengah, dari tabel ASTM E-112 diketahui nilai X_1 , Y_1 , X_2 , Y_2 :

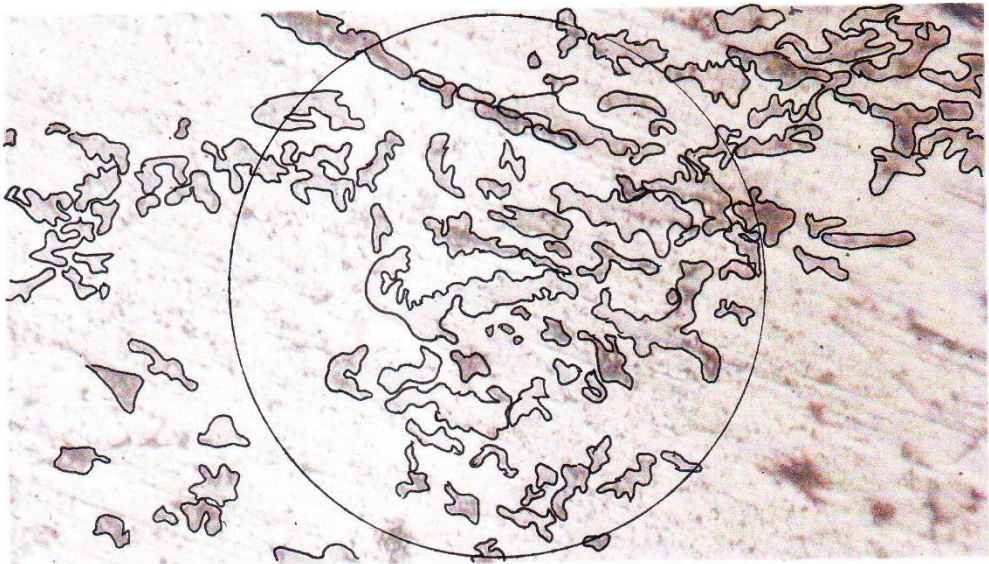
$$X_1 = 9,0 \qquad Y_1 = 15,9$$

$$X_2 = 9,5 \qquad Y_2 = 13,3$$

$$X = 9,11 \qquad Y = ?$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Y} &= Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)} (Y_2 - Y_1) \\ &= 15,9 + \frac{(9,11-9,0)}{(9,5-9,0)} (13,3 - 15,9) \\ &= 15,9 + \frac{(0,11)}{(0,5)} (-2,6) \\ &= 15,9 - 0,572 = \underline{15,32} \end{aligned}$$

Dari Tabel ASTM E-112 nilai $G = 9,11$ diperoleh diameter rata-rata butiran sebesar $15,32 \mu\text{m}$.



Gambar 4. 28 Strukturmikro Spesimen B3

Diketahui : $n_1 = 55$ $n_2 = 11$ $f = 50,0$

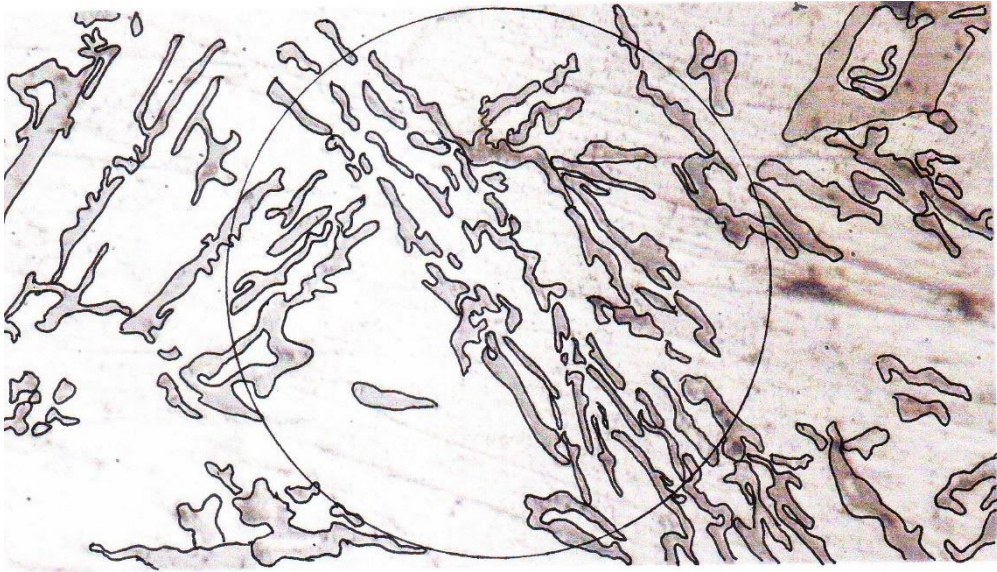
- $(N_a) = f(n_1 + n_2/2)$
= $50 (55 + 11/2)$
= 3025
- $G = [3,22 \log(N_a)] - 2,95$
= $[3,22 \log (3025) - 2,95]$
= $8,61$

Perhitungan yang dihasilkan diinterpolasi untuk mencari nilai tengah, dari tabel ASTM E-112 diketahui nilai X_1, Y_1, X_2, Y_2 :

$$\begin{array}{ll} X_1 = 8,5 & Y_1 = 18,9 \\ X_2 = 9,0 & Y_2 = 15,9 \\ X = 8,61 & Y = ? \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Y} &= Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)} (Y_2 - Y_1) \\ &= 18,9 + \frac{(8,61-8,5)}{(9,0-8,5)} (15,9 - 18,9) \\ &= 18,9 + \frac{(0,11)}{(0,5)} (-3) \\ &= 18,9 - 0,66 = \underline{18,24} \end{aligned}$$

Dari Tabel ASTM E-112 nilai $G = 8,61$ diperoleh diameter rata-rata butiran sebesar $18,24 \mu\text{m}$.



Gambar 4. 29 Strukturmikro Spesimen C1

Diketahui : $n_1 = 46$ $n_2 = 12$ $f = 50,0$

- $(N_a) = f(n_1 + n_2/2)$
 $= 50 (46 + 12/2)$
 $= 2600$
- $G = [3,22 \log(N_a)] - 2,95$
 $= [3,22 \log (2600) - 2,95]$
 $= 8,39$

Perhitungan yang dihasilkan diinterpolasi untuk mencari nilai tengah, dari tabel

ASTM E-112 diketahui nilai X_1, Y_1, X_2, Y_2 :

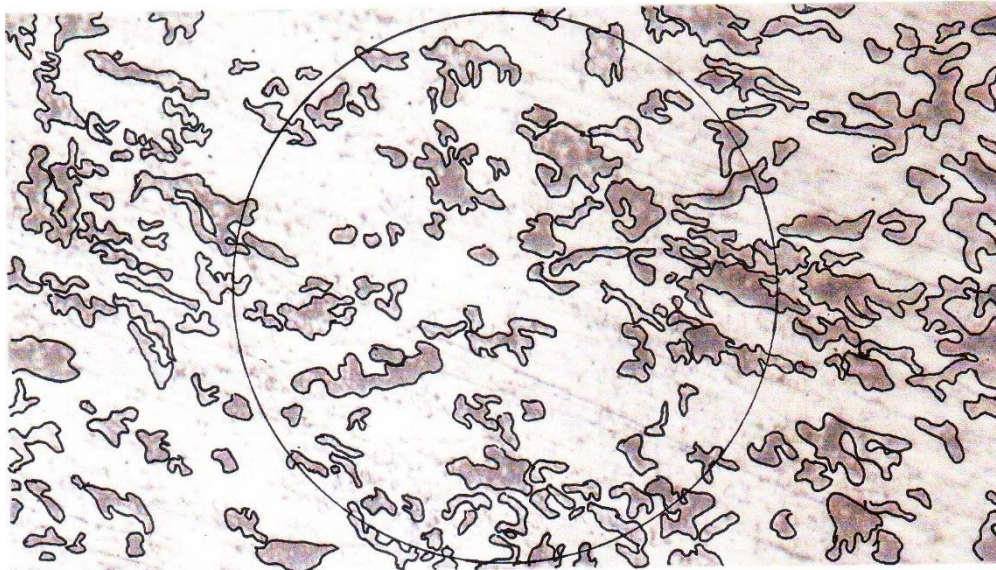
$$X_1 = 8,0 \qquad Y_1 = 22,5$$

$$X_2 = 8,5 \qquad Y_2 = 18,9$$

$$X = 8,39 \qquad Y = ?$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Y} &= Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)} (Y_2 - Y_1) \\ &= 22,5 + \frac{(8,39-8,0)}{(8,5-8,0)} (22,5 - 18,9) \\ &= 22,5 + \frac{(0,39)}{(0,5)} (-3,6) \\ &= 22,5 - 2,808 = \underline{19,69} \end{aligned}$$

Dari Tabel ASTM E-112 nilai $G = 8,39$ diperoleh diameter rata-rata butiran sebesar $19,69 \mu\text{m}$.



Gambar 4. 30 Strukturmikro Spesimen C2

Diketahui : $n_1 = 71$ $n_2 = 20$ $f = 50,0$

- $(N_a) = f(n_1 + n_2/2)$
 $= 50 (71 + 20/2)$
 $= 4050$
- $G = [3,22 \log(N_a)] - 2,95$
 $= [3,22 \log (4050) - 2,95]$
 $= 9,03$

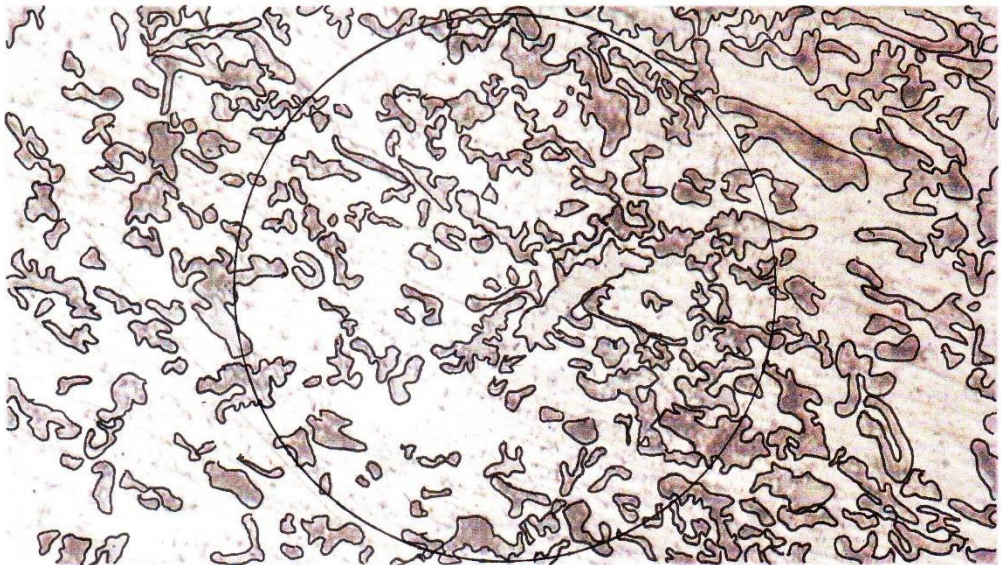
Perhitungan yang dihasilkan diinterpolasi untuk mencari nilai tengah, dari tabel ASTM E-112 diketahui nilai X_1, Y_1, X_2, Y_2 :

$$\begin{array}{ll} X_1 = 9,0 & Y_1 = 15,9 \\ X_2 = 9,5 & Y_2 = 13,3 \\ X = 9,03 & Y = ? \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Y} &= Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)}(Y_2 - Y_1) \\ &= 15,9 + \frac{(9,03-9,0)}{(9,5-9,0)}(13,3 - 15,9) \end{aligned}$$

$$= 15,9 + \frac{(0,03)}{(0,5)} (-2,6)$$
$$= 15,9 - 0,156 = \underline{15,74}$$

Dari Tabel ASTM E-112 nilai $G = 9,03$ diperoleh diameter rata-rata butiran sebesar $15,74 \mu\text{m}$.



Gambar 4. 31 Strukturmikro Spesimen C3

Diketahui : $n_1 = 93$ $n_2 = 26$ $f = 50,0$

- $(N_a) = f(n_1 + n_2/2)$
 $= 50 (93 + 26/2)$
 $= 5300$
- $G = [3,22 \log(N_a)] - 2,95$
 $= [3,22 \log (5300)] - 2,95$
 $= 9,42$

Perhitungan yang dihasilkan diinterpolasi untuk mencari nilai tengah, dari tabel ASTM E-112 diketahui nilai X_1, Y_1, X_2, Y_2 :

$$\begin{array}{ll} X_1 = 9,0 & Y_1 = 15,9 \\ X_2 = 9,5 & Y_2 = 13,3 \\ X = 9,42 & Y = ? \end{array}$$

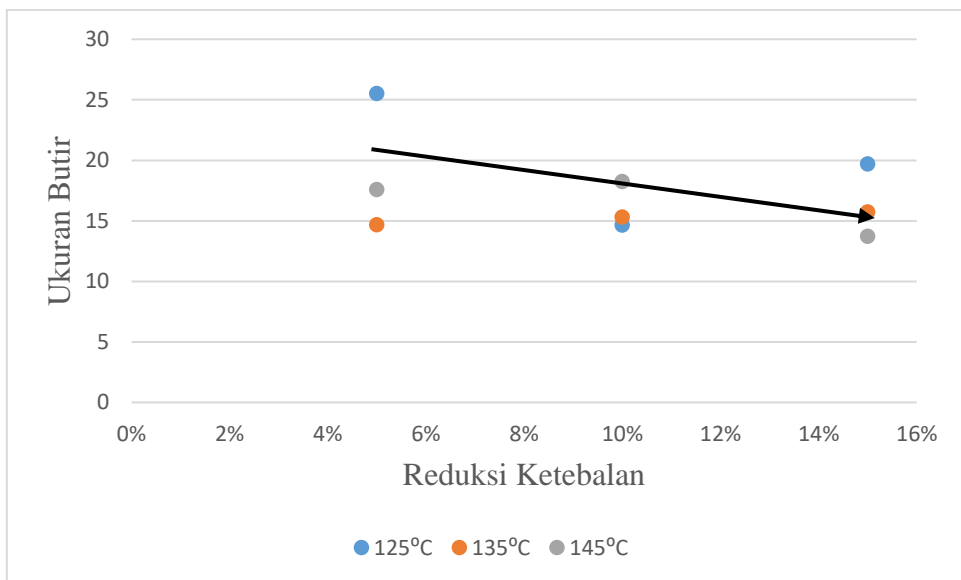
$$\begin{aligned}\text{Nilai Y} &= Y_1 + \frac{(X-X_1)}{(X_2-X_1)}(Y_2 - Y_1) \\ &= 15,9 + \frac{(9,42-9,0)}{(9,5-9,0)}(13,3 - 15,9) \\ &= 15,9 + \frac{(0,42)}{(0,5)}(-2,6) \\ &= 15,9 - 2,184 = \underline{13,71}\end{aligned}$$

Dari Tabel ASTM E-112 nilai G = 9,42 diperoleh diameter rata-rata butiran sebesar 13,71 μm .

4. 1. 2. 2 Analisa Data Uji Strukturmikro

Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan Ukuran Butir Metode Planimetri (*Jeffries*)

No	Kode Spesimen	Ukuran Butir (μm)
1	A1	25,52
2	A2	14,67
3	A3	17,58
4	B1	14,65
5	B2	15,32
6	B3	18,24
7	C1	19,69
8	C2	15,74
9	C3	13,71



Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara temperatur dan reduksi ketebalan benda kerja terhadap struktur mikro

Dari gambar 4. ditunjukkan dengan garis resultant diketiga garis mengalami penurunan, semakin besar reduksi ketebalan benda kerja yang diberikan berpengaruh pada ukuran butir yang semakin kecil. Ini sesuai dengan penelitian (**G. N. Lokesh, dkk, 2014**) menunjukkan bahwa sifat mekanik bahan mengalami peningkatan karena struktur butiran halus selama reduksi rolling, ini disebabkan karena semakin tinggi reduksi ketebalan benda kerja mengakibatkan rekristalisasi dinamis lengkap terjadi, mekanisme untuk evolusi struktur butiran dalam canai panas sebagai komposit cor telah menunjukkan distribusi ukuran bimodal dimana pembentukan butiran halus diyakini disebabkan oleh pengurangan berturut turut komposit. Menurut (**Z. Z. Chen & K. Tokaji, 2004**) ukuran butir semakin kecil maka kekuatan kelelahan bahan semakin meningkat. Sedangkan semakin besar temperatur benda kerja yang diberikan maka ukuran butir mengecil karena adanya proses *hot working*, ini sesuai dengan buku (**George. E, Dieter. JR, 1961**) proses *hot working* menghasilkan difusi cepat pada suhu kerja panas membantu dalam mengurangi ketidakhomogenan kimiawi dari struktur cor-ingot, lubang gas dan porositas dieliminasi oleh pengelasan bersama rongga-rongga dan butiran kolumnar kasar dari coran dipecah dan dimurnikan menjadi butiran rekristalisasi yang sama. Menurut (**Tao Zhang, dkk, 2017**) di satu sisi, suhu yang lebih tinggi meningkatkan gerakan atom dan molekul yang diaktifkan secara termal dalam bahan dan proses inti rekristalisasi dinamis, di sisi lain suhu yang

lebih tinggi meningkatkan kekuatan pendorong termodinamika untuk proses pembentukan rekristalisasi dinamik.

4. 1. 3. Uji Fatigue

4. 1. 3. 1 Analisa Kelelahan Bahan

George E. Dieter, JR telah menulis tentang proses hot working menghasilkan difusi cepat pada suhu kerja panas membantu dalam mengurangi ketidakhomogenan kimiawi dari struktur cor-ingot, lubang gas dan porositas dieliminasi oleh pengelasan Bersama rongga-rongga ini dan butiran kolumnar kasar dari coran dipecah dan dimurnikan menjadi butiran rekristalisasi yang sama. Tao Zang, dkk. Telah menyelidiki tentang optimization of deformation parameters of dynamic recrystallization for 7055 aluminum alloy by cellular automaton yang hasilnya adalah disatu sisi, suhu yang lebih tinggi meningkatkan gerak atom dan molekul yang diaktifkan secara termal dalam bahan dan proses inti rekristalisasi dinamis, disisi lain suhu yang lebih tinggi meningkatkan kekuatan pendorongan termodinamika untuk proses pembentukan rekristalisasi dinamik. Jiashi Miao, dkk. Telah mempelajari tentang microstructure and hot deformation behavior of a new Aluminum-LithiumCopper based AA2070 alloy dimana didapatkan hasil rekristalisasi dinamis luas terjadi pada struktur mikro yang mengarah pada penyempurnaan signifikan struktur mikro di suhu 450 °C. Z.Z. Chen & K. Tokaji. Telah menyelidiki tentang effect of particle size on fatigue crack initiation and small crack growth in SiC particulate-reinforced aluminium alloy composite didapatkan ukuran butir semakin kecil maka kekuatan kelelahan bahan semakin meningkat, resistensi inisiasi retak berkurang dengan penambahan SiC dan cenderung menurun dengan meningkatnya ukuran partikel. Dalam komposit dengan partikel kasar, retakan dimulai pada ujung partikel yang dapat dikaitkan dengan antarmuka debonding antara partikel dan matriks yang dihasilkan dari tidak hanya ukuran tetapi juga bentuk partikel. Perilaku pertumbuhan retak kecil tergantung pada tingkat tegangan, pada tegangan rendah resistensi retak tumbuh meningkat dengan meningkatnya ukuran partikel. Pada komposit SiC / Al 5 µm retakan kecil tumbuh menghindari partikel tetapi jalur pertumbuhan retak agak halus karena ukuran paartikel kecil dan partikel-partikel bersinggungan. Pada komposit SiCp / Al 20 dan 60 µm retakan kecil tumbuh di sepanjang antarmuka antara partikel dan matriks, menghasilkan jalur pertumbuhan retak berliku.