

INTISARI

Penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengerolan terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada baja karbon rendah yang telah mengalami temper pada suhu 400°C. Pengerolan yang dilakukan yaitu dengan cara pelengkungan benda uji dengan variasi diameter pelengkungan yaitu 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm.

Penelitian dimulai dengan melakukan pengerolan pada benda uji dengan diameter pengerolan yang berbeda-beda kemudian diluruskan kembali dengan alat yang sama. Setelah dibentuk menjadi spesimen untuk pengujian kemudian ditemper pada suhu 400°C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah ditemper pada suhu 400°C untuk bahan yang tidak mengalami pengerolan kekuatan tariknya adalah 60,22 kg/mm². Untuk bahan yang mengalami pengerolan, semakin kecil diameter pengerolan maka kekuatan tariknya akan semakin rendah. Untuk hasil uji kekerasan setelah ditemper pada suhu 400°C terdapat perubahan yang signifikan pada sisi tarik yaitu untuk bahan yang tidak mengalami pengerolan nilai kekerasannya adalah 166,36 kg/mm². Untuk bahan yang mengalami pengerolan, semakin kecil diameter pengerolan maka kekerasannya akan semakin rendah. Hasil foto struktur mikro tidak menunjukkan perubahan.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
DAFTAR DEWAN PENGUJI	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
INTI SARI	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Umum.....	5
2.2 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja	5
2.3 Klasifikasi Baja Karbon	7

2.4	Diagram Fase Fe-Fe ₃	8
2.5	Pengaruh Pengerjaan Dingin Pada Baja.....	12
	2.5.1 Pengerolan Logam.....	13
	2.5.1.1 Klasifikasi Pengerolan Logam.....	13
	2.5.1.2 Pengerolan Batang.....	15
2.6	Pengaruh Perlakuan Panas.....	16
2.7	Pengujian Bahan.....	17
	2.7.1 Pengujian Tarik.....	18
	2.7.1.1 Kekuatan Tarik.....	18
	2.7.2 Pengujian Kekerasan.....	18
	2.7.3 Pengamatan struktur mikro.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		21
3.1	Skema Penelitian.....	21
3.2	Bahan Yang Digunakan.....	22
3.3	Peralatan Yang Digunakan.....	22
3.4	Pengerolan.....	23
3.5	Pembuatan Benda Uji.....	23
	3.5.1 Uji Tarik.....	23
	3.5.2 Uji Kekerasan dan Struktur Mikro.....	25
3.6	Perlakuan Panas.....	25
3.7	Pengujian Bahan.....	26
	3.7.1 Pengujian Tarik.....	26
	3.7.2 Pengujian Kekerasan.....	27

3.7.3	Struktur Mikro	27
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1	Pengujian Komposisi kimia	29
4.2	Pengujian Tarik.....	29
4.2.1	Benda Uji Yang Tidak Mengalami Pengerolan Kemudian Ditemper Dengan Suhu 400°C.....	32
4.2.2	Benda Uji Yang Mengalami Pengerolan Dengan Diameter Pengerolan 200 mm Kemudian Ditemper Dengan Suhu 400°C.....	33
4.2.3	Benda Uji Yang Mengalami Pengerolan Dengan Diameter Pengerolan 300 mm Kemudian Ditemper Dengan Suhu 400°C.....	34
4.2.4	Benda Uji Yang Mengalami Pengerolan Dengan Diameter Pengerolan 400 mm Kemudian Ditemper Dengan Suhu 400°C.....	35
4.2.5	Benda Uji Yang Mengalami Pengerolan Dengan Diameter Pengerolan 500 mm Kemudian Ditemper Dengan Suhu 400°C.....	36
4.3	Pengujian Kekerasan.....	42
4.3.1	Benda Uji Yang Tidak Mengalami Pengerolan Kemudian Ditemper Dengan Suhu 400°C.....	42

4.3.2	Benda Uji Yang Mengalami Pengerolan Dengan Diameter Pengerolan 200 mm Kemudian Ditemper Dengan Suhu 400°C.....	43
4.3.3	Benda Uji Yang Mengalami Pengerolan Dengan Diameter Pengerolan 300 mm Kemudian Ditemper Dengan Suhu 400°C.....	43
4.3.4	Benda Uji Yang Mengalami Pengerolan Dengan Diameter Pengerolan 400 mm Kemudian Ditemper Dengan Suhu 400°C.....	44
4.3.5	Benda Uji Yang Mengalami Pengerolan Dengan Diameter Pengerolan 500 mm Kemudian Ditemper Dengan Suhu 400°C.....	44
4.4	Pengamatan Struktur Mikro	48
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran-saran.....	52
	DAFTAR PUSTAKA.....	53
	LAMPIRAN	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram keseimbangan besi-karbon	8
Gambar 2.2	Diagram keseimbangan besi-karbon secara garis besar	11
Gambar 2.3	Jenis-jenis pengerjaan dingin	13
Gambar 2.4	Susunan rol untuk pengerolan logam	15
Gambar 2.5	Pengerolan logam dan profil struktur	15
Gambar 2.6	Skematis pemantulan cahaya pada mikroskop	20
Gambar 3.1	Skema penelitian	21
Gambar 3.2	Spesimen uji tarik	24
Gambar 4.1	Grafik kekuatan tarik baja karbon rendah	38
Gambar 4.2	Grafik kekuatan tarik terhadap benda uji setelah ditemper 400°C	38
Gambar 4.3	Grafik tegangan patah baja karbon rendah	39
Gambar 4.4	Grafik tegangan patah terhadap benda uji setelah ditemper 400°C	39
Gambar 4.5	Grafik regangan baja karbon rendah	40
Gambar 4.6	Grafik regangan terhadap benda uji setelah ditemper 400°C	40
Gambar 4.7	Grafik kekerasan Brinell sisi tekan baja karbon rendah	45
Gambar 4.8	Grafik nilai kekerasan pada bidang tekan-normal terhadap benda uji setelah ditemper 400°C	45
Gambar 4.9	Grafik kekerasan Brinell sisi tengah baja karbon rendah	46

Gambar 4.10	Grafik nilai kekerasan pada bidang tengah terhadap benda uji setelah ditemper 400°C	46
Gambar 4.11	Grafik kekerasan Brinell sisi tarik baja karbon rendah.....	47
Gambar 4.12	Grafik nilai kekerasan pada bidang tarik-normal terhadap benda uji setelah ditemper 400°C.....	47
Gambar 4.13	Struktur mikro dari benda uji setelah mengalami temper 400° C	49

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Ukuran spesimen menurut standar.....	25
Tabel 4.1	Data hasil pengujian komposisi	29
Tabel 4.2	Data pengujian tarik untuk benda uji yang tidak mengalami pengerolan dan telah ditemper dengan suhu 400°C.....	32
Tabel 4.3	Data hasil perhitungan pada pengujian tarik untuk benda uji yang tidak mengalami pengerolan dan telah ditemper dengan suhu 400°C	33
Tabel 4.4	Data pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C.....	33
Tabel 4.5	Data hasil perhitungan pada pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C	34
Tabel 4.6	Data pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C.....	34
Tabel 4.7	Data hasil perhitungan pada pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C	35

Tabel 4.8	Data pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C.....	35
Tabel 4.9	Data hasil perhitungan pada pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C	36
Tabel 4.10	Data pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C.....	36
Tabel 4.11	Data hasil perhitungan pada pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C	37
Tabel 4.12	Data pengujian kekerasan untuk benda uji yang tidak mengalami pengerolan dan ditemper dengan suhu 400°C.....	42
Tabel 4.13	Data pengujian kekerasan untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm dan ditemper dengan suhu 400°C	43
Tabel 4.14	Data pengujian kekerasan untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm dan ditemper dengan suhu 400°C	43
Tabel 4.15	Data pengujian kekerasan untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm dan ditemper dengan suhu 400°C	44

Tabel 4.16 Data pengujian kekerasan untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm dan ditemper dengan suhu 400°C	44
--	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan di dunia industri saat ini sangatlah pesat, setiap negara di dunia berupaya meningkatkan sumber daya manusia yang ada agar dapat bersaing di sektor industri. Negara Indonesia merupakan salah satu negara yang sedang membangun sumber daya manusia dan pemanfaatan sumber daya alamnya agar dapat bersaing di sektor industri, sehingga sektor industri mampu membantu pertumbuhan di bidang ekonomi demi tercapainya suatu negara yang sedang berkembang.

Demi tercapainya negara yang memiliki industri yang maju, tentu saja tidak lepas dari teknologi-teknologi yang mendukung di bidang tersebut, seperti mesin-mesin dan peralatan-peralatan yang digunakan untuk berproduksi dan proses produksi. Faktor yang mendukung tercapainya suatu produk yang berkualitas serta berdaya guna secara ekonomis tidak lepas dari kualitas mesin dan peralatan-peralatan yang digunakan. Untuk mendapatkan mesin dan peralatan-peralatan yang berkualitas salah satunya adalah faktor pemilihan bahan dalam pembuatan mesin dan peralatan tersebut.

Pemilihan bahan ini sangat penting untuk dipertimbangkan dalam perencanaan pembuatan bagian mesin atau struktur agar dapat menunjang sistem kerja mesin. Tetapi pada kenyataannya dalam pemilihan bahan tidak semua bahan memiliki sifat yang dapat memenuhi kebutuhan seluruhnya. Hal tersebut karena

dipengaruhi oleh beberapa faktor yang menyebabkan sifat-sifat bahan mengalami penurunan pada sifat fisis dan mekaniknya, salah satunya adalah akibat adanya proses pengerolan. Proses pengerolan ini akan mempengaruhi kekuatan tarik dan kekerasan bahan. Untuk mengembalikan sifat bahan ke keadaan semula dilakukan pengerjaan panas pada bahan tersebut yaitu dengan normalizing.

Tetapi pada penelitian ini menggunakan perlakuan panas yang lain yaitu proses tempering pada suhu 400°C dan dilakukan dengan menggunakan bahan baja karbon rendah yang mengalami pengerolan. Kemudian akan dilakukan uji tarik, uji kekerasan dan akan diamati perubahan struktur mikronya.

1.2 Rumusan Masalah

Bahan yang telah mengalami proses pengerolan tentu saja akan mengalami perubahan sifat mekaniknya, baik itu kekuatan tariknya, kekerasan maupun struktur mikronya. Dan setelah mengalami proses tempering sifat-sifat tersebut juga akan mengalami perubahan. Sehingga rumusan masalah yang digunakan adalah :

Bagaimana pengaruh temper pada suhu 400°C terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro baja karbon yang telah mengalami pengerolan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temper pada suhu 400°C terhadap :

1. Kekuatan tarik baja karbon rendah yang telah mengalami pengerolan.
2. Kekerasan baja karbon rendah yang telah mengalami pengerolan.
3. Struktur mikro baja karbon rendah yang telah mengalami pengerolan.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa batasan masalah yang digunakan untuk mempermudah pemahaman, antara lain :

1. Dalam pengujian menggunakan bahan baja karbon rendah yang telah dilakukan uji komposisi dan hasil yang diperoleh memiliki kadar karbon sebesar 0,14 %
2. Pengerolan yang dilakukan bertujuan untuk melengkungkan benda uji dengan variasi diameter 200mm, 300mm, 400mm, 500mm.
3. Proses perlakuan panas yang digunakan adalah temper pada suhu 400°C.
4. Pengujian tarik.
5. Pengujian kekerasan dengan metode Brinell.
6. Pengamatan struktur mikro pada baja karbon rendah.

1.5 Metodologi Penulisan

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyajikan 5 bab, yaitu :

1. Pada Bab I penulis menyajikan : latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, dan tujuan penelitian.
2. Pada Bab II penulis menyajikan : dasar teori
3. Pada Bab III penulis menyajikan : metodologi penulisan
4. Pada Bab IV penulis menyajikan : hasil penelitian dan pembahasan.
5. Pada Bab V penulis menyajikan : kesimpulan dan saran-saran.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Umum

Baja adalah suatu bahan teknik yang mempunyai kandungan kimia besi (Fe) dengan karbon (C) < 2 %. Paduan besi-karbon ini berpadu secara kimia membentuk senyawa yaitu besi karbida (Fe_3C). Namun dalam perencanaannya, jarang sekali kita menemui pemakaian baja murni yang hanya mengandung kedua unsur tersebut. Dengan demikian kita mengenal dua golongan, yaitu baja karbon (yang terdiri dari satu paduan yaitu karbon) dan baja paduan (yang terdiri paduan elemen-elemen paduan yang bermacam-macam). Baja paduan itu sendiri dibagi menjadi dua yaitu : baja paduan rendah dengan unsur paduan < 5 % dan baja paduan tinggi dengan unsur paduan > 5%. Bervariasinya elemen paduan baja, maka bervariasi pula sifat-sifat yang dimiliki baja tersebut, dari yang paling lunak sampai yang paling keras, tergantung pada jenis paduannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat alamiah dari bahan mentahnya itu sendiri, dalam penggunaan skala kecil. Bahan-bahan itu sendiri antara lain: Fosfor (P), belerang (S), mangan (Mn), silikon (Si) dan unsur-unsur pengotor lainnya.

2.2 Pengaruh Unsur Paduan Pada Baja

Pada umumnya baja mempunyai unsur atau kandungan paduan yang dapat memberikan pengaruh yang baik dan buruk pada baja. Unsur-unsur yang terdapat dalam baja antara lain :

a. Cobalt (Co)

Unsur Co menaikkan daya tahan aus dan menghalangi pertumbuhan butiran. Biasanya Unsur Co digunakan dengan unsur lain.

b. Silikon (Si)

Unsur Si selalu terdapat dalam baja. Unsur ini menurunkan laju perkembangan gas sehingga sifat berpori pada baja. Si akan menaikkan tegangan tarik pada baja, menurunkan kecepatan pendinginan kritis. Unsur Si harus selalu ada pada baja walaupun dalam jumlah yang kecil untuk memberikan sifat las dan tempa.

c. Chromium (Cr)

Unsur Cr akan meningkatkan kemampuan potong dan daya tahan plat perkakas tetapi menurunkan keuletan. Unsur-unsur Cr dan C akan meningkatkan kekerasan pada baja. Unsur Cr juga akan menurunkan kecepatan pendinginan dan meningkatkan suhu kritis baja..

d. Tungsten (W), Molibden (Mo) dan Vanadium (V)

Unsur-unsur ini memberikan daya tahan panas pada alat perkakas yang bekerja pada kecepatan tinggi. Seperti Cr, unsur-unsur ini akan membentuk karbida dalam baja yang akan menaikkan kekerasan, kemampuan potong dan daya tahan aus baja.

e. Sulfur dan Fosfor

Kadar sulfur dalam jumlah banyak menjadikan baja rapuh pada suhu rendah. Unsur fosfor memudahkan baja dikerjakan dengan mesin. Jadi pengaruhnya adalah dapat menurunkan kualitas baja.

f. Nikel (Ni)

Unsur ini memberikan pengaruh menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Unsur Ni membuat struktur butiran halus dan menaikkan keuletan baja.

g. Mangan (Mn)

Kadar Mn lebih kecil dari 0,6% tidak dianggap unsur paduan karena tidak mempengaruhi sifat baja secara mencolok. Semua baja mengandung Mn karena diperlukan dalam proses pembuatan baja. Kadar Mn rendah dapat menurunkan kecepatan pendinginan kritis.

2.3 Klasifikasi Baja Karbon (Carbon Steel)

Baja Karbon dihasilkan dari penambahan karbon pada besi murni (ferrit) dalam jumlah berkisar 0,05% sampai 1,7%. Baja karbon sendiri dibagi menjadi tiga kelompok, antara lain :

1. Baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0,05% - 0,30%

Baja ini mempunyai sifat yang berkekuatan sedang tetapi memiliki keliatan yang tangguh. Mudah dikerjakan dalam pemesian dan mudah dilas.

2. Baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0,30% - 0,50%

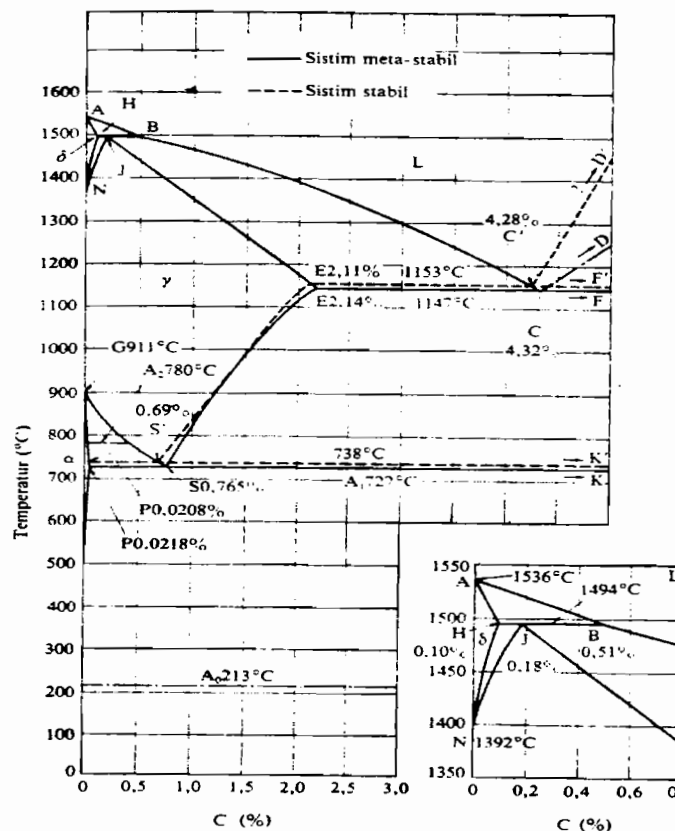
Baja ini mempunyai sifat yang lebih keras dibandingkan dengan baja karbon rendah tetapi keliatannya berkurang dan mudah ditempa.

3. Baja karbon tinggi dengan kandungan karbon lebih dari 0,50%

Mempunyai sifat yang paling keras dan tahan terhadap keausan tetapi memiliki ketangguhan yang kurang tangguh. Biasanya digunakan untuk alat potong.

American Iron and Steel Institute (AISI) dan Society of Automotive Engineers (SAE) memberikan kode untuk baja yang karbon biasa dengan seri 10xx. Dua angka terakhir menunjukkan kandungan karbon (C) dalam baja tersebut. Sebagai contoh: seri 1080 berarti baja karbon dengan kandungan C sebesar 0,8% berat.

2.4 Diagram Fase Fe-Fe₃C



Gambar 2.1 Diagram Keseimbangan Besi-Karbon

(Sumber : Tata Surdia, Shinroku Saito. Pengetahuan Bahan Teknik, hal 70)

Gambar 2.1 menunjukkan diagram keseimbangan besi-karbon sebagai dasar dari bahan yang berupa besi. Selain karbon pada besi dan baja terkandung kira-kira 0,25% Si, 0,3% Mn dan unsur pengotor lain seperti P, S, dan sebagainya. Karena unsur ini tidak memberikan pengaruh utama kepada diagram fasa, maka diagram fasa tersebut dapat dipergunakan tanpa menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut.

Pada paduan besi karbon terdapat fasa karbida yang disebut sementit dan juga grafit, grafit lebih stabil daripada sementit. Titik penting pada diagram fasa ini adalah :

- A : Titik cair besi
- B : Titik pada cairan yang ada hubungannya dengan reaksi peritektik.
- H : Larutan padat δ yang ada hubungannya dengan reaksi peritektik. Kelarutan karbon maksimum adalah 0,10%.
- J : Titik peritektik. Selama pendinginan austenit pada komposisi J, fasa γ terbentuk dari larutan padat δ pada komposisi H dan cairan pada komposisi B.
- N : Titik transformasi dari besi $\delta \rightleftharpoons$ besi γ , titik transformasi A_4 dari besi murni.
- C : Titik eutektik. Selama pendinginan fasa γ dengan komposisi E dan sementit pada komposisi F (6,67% C) terbentuk dari cairan pada komposisi C. Fasa eutektik ini disebut ledeburit.

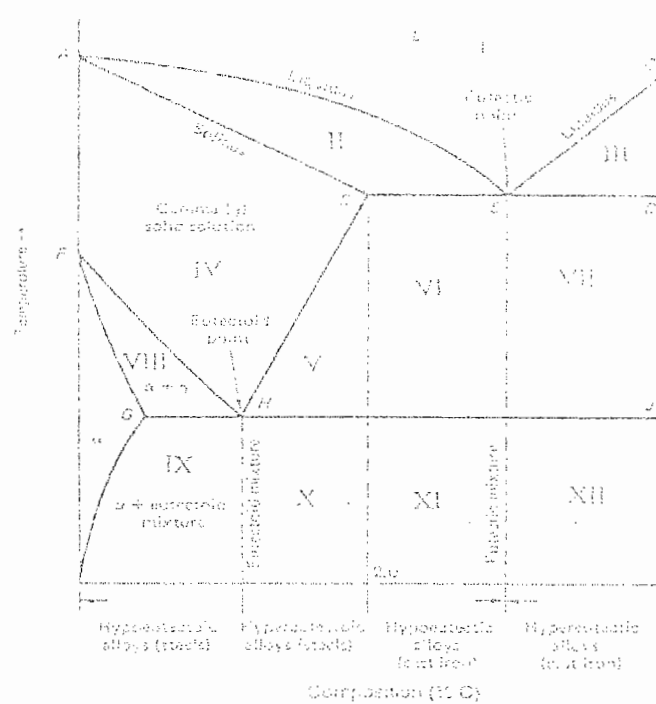
- E : Titik yang menyatakan fasa γ , ada hubungan dengan reaksi eutektik. Kelarutan maksimum dari karbon 2,14%. Paduan besi karbon sampai pada komposisi ini disebut baja.
- G : Titik transformasi besi $\gamma \rightleftharpoons$ besi α . Titik transformasi A_3 untuk besi
- P : Titik yang menyatakan ferit, fasa α , ada hubungan dengan reaksi eutektoid. Kelarutan maksimum dari karbon kira-kira 0,02 %.
- S : Titik eutektoid. Selama pendinginan, ferit pada komposisi P dan sementit pada komposisi K (sama dengan F) terbentuk simultan dari austenit pada komposisi S. Reaksi eutektoid ini dinamakan transformasi A_1 , dan fasa eutektoid ini dinamakan perlit.
- GS : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi, dimana mulai terbentuk ferit dari austenit. Garis ini disebut garis A_3 .
- ES : Garis yang menyatakan hubungan antara temperatur dan komposisi; dimana mulai terbentuk sementit dari austenit, dimana garis A_{cm} .
- A_2 : Titik transformasi megnetik untuk besi atau ferrit.
- A_0 : Titik transformasi megnetik untuk simentit.

Baja yang berkadar sama dengan komposisi eutektoid dinamakan baja eutektoid, yang berkadar karbon kurang dari komposisi euektoid disebut baja hipoeutektoid, dan yang berkadar karbon lebih dari komposisi eutektoid disebut baja hipereutektoid.

Diagram Fase Fe-Fe₃C dapat dibagi menjadi 12 zona, yaitu:

- I : Zona larutan Fe₃C cair
- II : Zona austenit + Fe₃C cair

- III : Zona sementit primer + Fe₃C cair
- IV : Zona austenit 100%
- V : Zona austenit + sementit sekunder
- VI : Zona austenit + sementit sekunder + ledeburit
- VII : Zona sementit primer + ledeburit
- VIII : Zona ferrit + austenit
- IX : Zona ferrit + perlit (perpaduan kristal Fe dan sementit)
- X : Zona sementit sekunder + perlit
- XI : Zona sementit sekunder + perlit + ledeburit
- XII : Zona primer + ledeburit



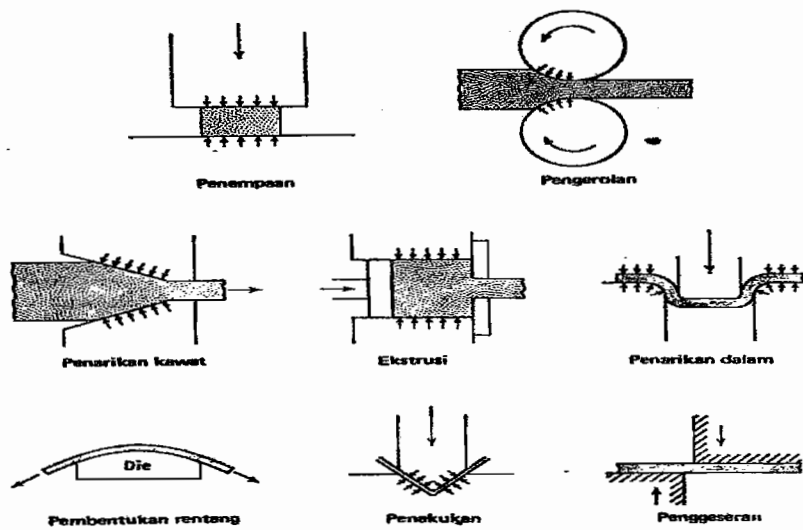
Gambar 2.2 Diagram Keseimbangan Besi-Karbon Secara Garis Besar
(Sumber : Jacobs J. A, kilduff T.F, Engineering Materials Technology)

Keterangan istilah :

- a. Ferit adalah besi α murni, merupakan struktur yang lunak, hanya terdapat pada baja yang memiliki kadar karbon kurang dari 0,8%.
- b. Perlit merupakan struktur komposit eutektoid, yaitu campuran antara besi α dan Fe_3C (88,5% α dan 11,5% Fe_3C). Perlit ini terbentuk saat pendinginan γ dengan 0,8% C pada suhu lebih rendah dari 723°C. Perlit akan membentuk fasa γ pada batas butir.
- c. Sementit (Fe_3C) berstruktur keras, hanya terdapat pada baja dengan kadar karbon lebih dari 0,8%.
- d. Austenit adalah kristal besi γ , yang mengandung karbon atau elemen paduan yang lain dalam keadaan padat.
- e. Ledeburit merupakan struktur komposit eutektik yang tersusun oleh γ dan Fe_3C pada pendinginan di bawah 1130°C dengan komposisi 4,3% C.

2.5 Pengaruh Pengerjaan Dingin Pada Baja

Pengerjaan dingin adalah suatu proses perubahan bentuk logam secara plastis pada suhu ruang. Jenis-jenis pengerjaan dingin yaitu penempaan, pengerolan, penarikan kawat, ekstrusi, penggeseran dan lain-lain. Proses dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Jenis-jenis Pengerjaan Dingin
 (Sumber : George E. Dieter. Metalurgi Mekanik, hal 122)

2.5.1 Pengerolan Logam

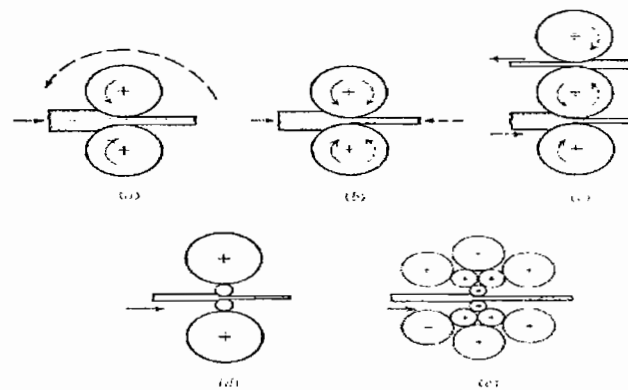
Pengerolan logam adalah proses perubahan bentuk logam secara plastis dengan melewatkannya di antara rol. Pengerjaan ini banyak digunakan pada proses pengerjaan logam, karena memberikan kemungkinan untuk memproduksi produk akhir yang berkualitas tinggi dan mudah dikontrol. Pada perubahan bentuk logam di antara rol-rol, benda kerja dikenakan tegangan kompresi yang tinggi yang berasal dari gerakan jepit rol dan tegangan gesek permukaan sebagai akibat gesekan antara rol dan logam.

2.5.1.1 Klasifikasi Pengerolan Logam

Pengerolan logam pada umumnya dapat digolongkan berdasarkan jumlah dan susunan rol (Gambar 2.4). Tipe pengerol logam yang paling sederhana dan paling banyak digunakan adalah pengerol logam *dua tingkat* (Gbr. 2.4a). Rol

dengan ukuran yang sama diputar hanya pada satu arah, kemudian hasil yang diperoleh dimasukkan kembali ke rol (belakang) untuk pengerolan berikutnya. Untuk meningkatkan kecepatan, digunakan rol *bolak balik dua tingkat*, dimana benda kerja dapat digerakkan maju dan mundur melalui rol-rol yang arah putarannya dapat dibalik (Gambar. 2.4b). Cara lain adalah menggunakan rol *tiga tingkat* (Gbr.2.4c), terdiri dari rol atas dan rol bawah sebagai sumber gerak dan rol tengah yang bergerak akibat gesekan.

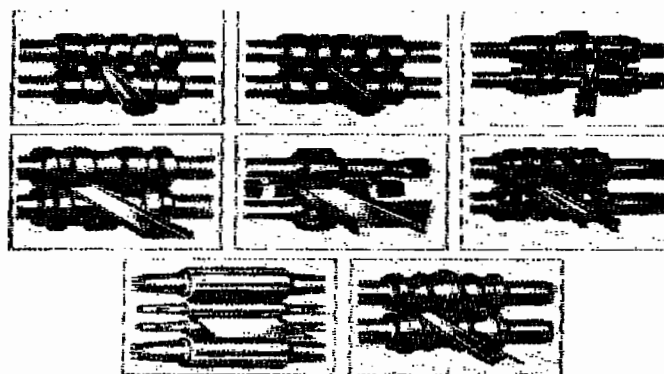
Pemakaian diameter rol yang kecil sangat banyak menurunkan pemakaian daya, tetapi karena rol berdiameter kecil mempunyai kecil mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah dibanding rol besar, maka rol berdiameter kecil harus ditopang oleh rol rol berdiameter besar. Tipe pengerolan logam yang paling sederhana adalah rol *empat tingkat*. (Gambar. 2.4d). Lembaran yang sangat tipis dapat dirol menjadi lebih tipis lagi pada pengerolan dengan diameter rol yang kecil. *Rol tandan* (Gambar.2.4e), dimana setiap pengerolan benda kerja didukung oleh dua rol lainnya adalah tipe yang mampu melakukan hal demikian. *Rol Sendzimir* merupakan suatu modifikasi dari rol tandan, yang sangat baik untuk mengerol lembaran-lembaran tipis atau foil dari paduan-paduan yang berkekuatan tinggi.



Gambar 2.4 Susunan rol untuk pengerolan logam. (a) searah, dua tingkat ; (b) dua tingkat, bolak balik; (c) tiga tingkat; (d) empat tingkat; (e) tandem (cluster)
(Sumber : George E. Dieter. Metalurgi Mekanik, hal 200)

2.5.1.2 Pengerolan Batang

Suatu mesin rol yang dirancang untuk mengerol batang dinamakan mesin *rol batang* (*bar roll*) atau *mesin dagang* (*merchant mill*). Sebagaimana besar mesin rol pembuat batang dilengkapi dengan bagian untuk memasukkan bilet ke dalam alur dan bagian pembalik untuk membalikkan arah batang dan mengumpulkannya kembali ke tahapan rol berikutnya. Mesin jenis demikian biasanya terdiri atas 2 atau 3 tingkat.



Gambar 2.5 Pengerolan logam dan profil struktur
(Sumber : George E. Dieter. Metalurgi Mekanik, hal 204)

2.6 Perlakuan Panas

Perlakuan panas pada baja merupakan proses pemanasan yang dilakukan pada baja pada suhu tertentu dan dalam waktu tertentu serta didinginkan dengan cara tertentu pula. Perlakuan panas dibedakan dalam dua cara, yaitu :

a. Secara mekanik

- Annealing
- Normalizing
- Hardening (Quenching)
- Tempering

b. Secara kimia

- Carburizing
- Nitriding
- Cyaniding
- Carbonitriding
- Diffusion Coating, pengerasan frekuensi tinggi, dan pengerasan nyala api.

Pada penelitian ini penyusun hanya menggunakan perlakuan panas tempering.

Tempering adalah proses hardening yang diulang pada baja dengan maksud untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan dalam. Pada proses ini baja didinginkan perlahan. Dengan tempering ini diperoleh struktur baja yang lebih stabil, kekerasan berkurang tetapi ketahanan baja naik.

Berdasarkan temperature pemanasan ada 3 macam tempering, yaitu :

a. Tempering dengan temperatur rendah (150°C - 250°C)

Berfungsi untuk menghilangkan tegangan dalam dan menaikkan keuletan tanpa mengubah struktur dan kekerasan

b. Tempering dengan temperatur sedang (350°C - 450°C)

Berfungsi untuk menaikkan keuletan tetapi mengakibatkan pengurangan kekerasan.

c. Tempering dengan temperatur tinggi (500°C - 650°C)

Tegangan dalam akan hilang, dan dapat diperoleh keseimbangan antara kekuatan

2.7 Pengujian Bahan

Pengujian bahan dimaksudkan untuk mengetahui sifat-sifat bahan itu sendiri. Sifat-sifat bahan tersebut meliputi :

1. Sifat mekanis

Sifat mekanis sendiri meliputi modulus elastisitas, tegangan tarik, beban patah, kekerasan dan keliatan.

2. Sifat kimia

Meliputi tahanan pada korosi, tahanan pada oksidasi dan diagram kesetimbangan.

3. Sifat fisik

Meliputi kerapatan, konduktivitas listrik dan konduktivitas panas.

Sedangkan secara umum pengujian mekanis suatu bahan terhadap benda uji dapat dibedakan atas :

1. Pengujian yang bersifat merusak benda uji meliputi uji tarik, uji geser, uji punter, uji kelelahan, uji kejut (impact), uji lengkung dan uji tekan.
2. Pengujian yang bersifat tidak merusak benda uji meliputi uji kekerasan (Brinell, Rocwell dan Vickers)

2.7.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan penarikan bahan uji atau batang uji secara terus menerus atau kontinyu dengan gaya yang bertambah sampai batang uji putus atau patah. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik, batas luluh, keuletan.

2.7.1.1 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik (Ultimate Tensile Strength/UTS) atau kekuatan tarik maksimal adalah beban maksimal dibagi luas penampang awal benda uji.

$$\sigma_u = \frac{P_{max}}{A_0}$$

2.7.2 Pengujian Kekerasan

Kekerasan dapat diukur dengan tiga jenis metode, antara lain:

1. Metode goresan atau metode mohs
2. Metode pantulan
3. Metode penekanan datau metode indentasi

Untuk logam murni dan paduan paling sering menggunakan , metode indentasi. Yang termasuk dalam metode indentasi adalah: Brinell, Vickers, Rockwell Knoop, dan sebagainya.

Dari beberapa data diketahui hubungan yang erat antara kekerasan dan kekuatan tarik. Hubungan ini memudahkan untuk mengetahui kekuatan bahan pada masing-masing pengujian yang dikenakan pada bahan tertentu. Pengujian dilakukan dengan cara menekan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan setelah itu mengukur bekas penekanan yang terbentuk di atasnya. Pengujian dilakukan dengan metode Brinell, di sini indenter yang digunakan berupa bola baja, biasanya diameter bola baja yang sering digunakan adalah 2,5mm dan 5 mm. Angka kekerasannya diketahui dengan persamaan :

$$\text{Angka Kekerasan Brinell} = \frac{2 \times P}{\pi \times D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \text{ kg/mm}^2$$

(Sumber: George E. Dieter. Metalurgi Mekanik, hal 329)

dengan P = beban yang diberikan pada indenter/gaya penekan (kg)

D = diameter indenter (mm)

d = diameter lubang bekas injakan (mm)

Catatan : $d_{\min} = 0,25 D$

$d_{\max} = 0,5 D$

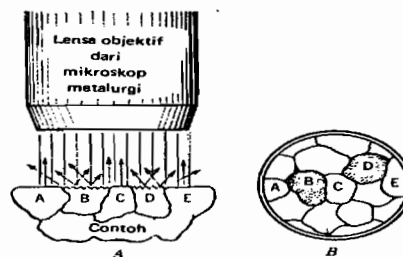
2.7.3 Pengamatan struktur mikro

Setelah mengalami perlakuan panas (heat treatment) pada baja mengubah sifat logam yaitu sifat mekanik dan sifat fisis. Perubahan sifat mekanik

dapat terlihat pada uji tarik maupun uji kekerasan. Sedangkan perubahan sifat fisis dapat dilihat dengan pengamatan struktur mikro.

Permukaan logam yang telah dihaluskan dapat diamati dengan bantuan mikroskop hanya dengan perbesaran yang kecil. Pada pembesaran ini belum tampak struktur permukaan logam. Agar struktur mikro dapat diamati, permukaan logam harus di etsa, yaitu diberikan/dicelupkan pada larutan asam/larutan yang bersifat korosif dalam jangka waktu tertentu. Akibat adanya medium korosif tersebut permukaan logam menjadi terkorosi selektif karena laju korosi di setiap titik tidak sama. Larutan etsa yang digunakan tergantung pada jenis logam.

Pada Gambar 2.6 Tampak skematis pemantulan cahaya dan struktur mikro yang terlihat. Bila cahaya yang dipantulkan oleh permukaan logam dapat ditangkap lensa obyektif mikroskop, maka daerah tersebut akan terang (daerah A,C,E). Sebaliknya bagian permukaan yang terkorosi selektif, pantulan cahaya menyebar sehingga hanya sedikit atau bahkan tidak ada yang tertangkap oleh lensa obyektif. Daerah ini akan tampak buram atau gelap (daerah B dan D). Batas butir tampak seperti alur mengelilingi setiap butiran dan berwarna gelap. Pada batas butir korosif biasanya paling cepat terjadi.

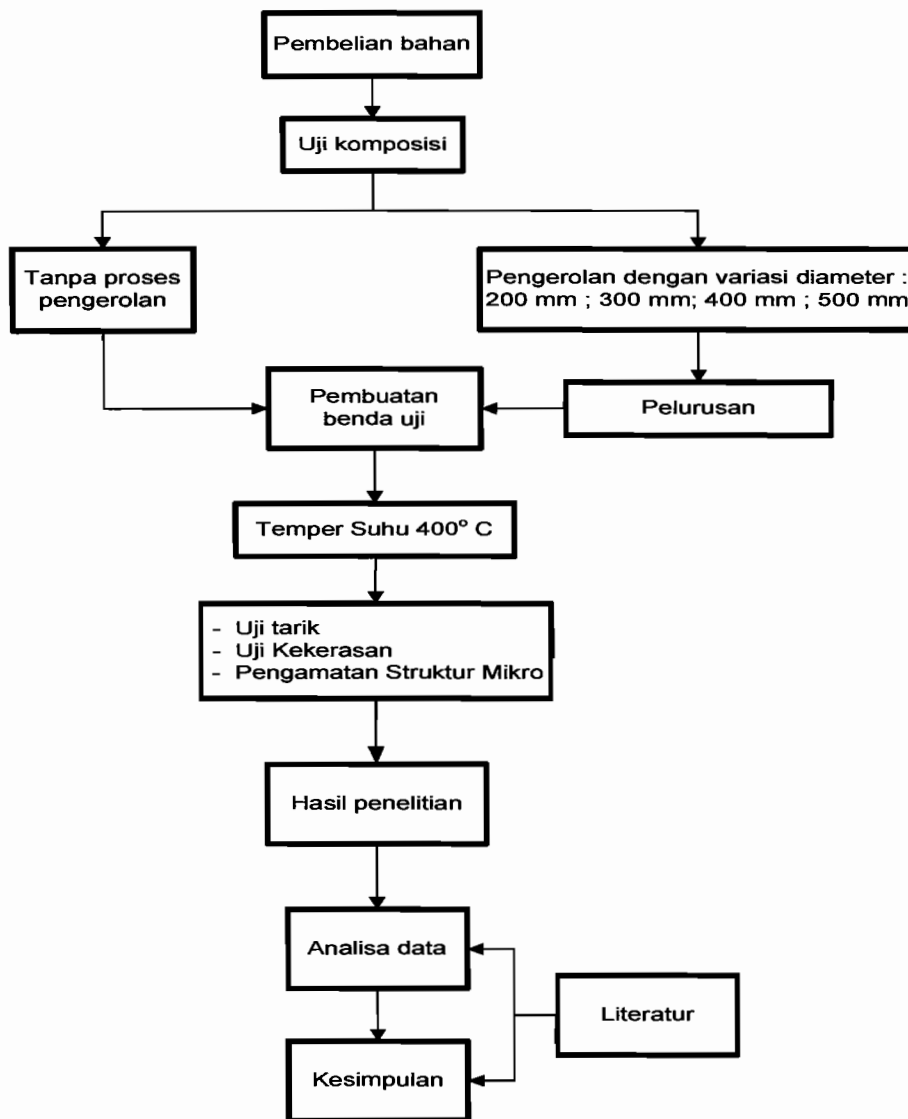


Gambar 2.6 Skematis Pemantulan Cahaya Pada Mikroskop
Sumber : B.H Amstead, Philip F. Ostwal C, Myron L Begemen.
Teknologi Mekanik, jilid 1, hal 23)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Skema Penelitian

Untuk memudahkan pengujian dan penelitian maka dibuat skema penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.1 Skema Penelitian

3.2 Bahan Yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah dengan diameter 3/8 inchi. Uji komposisi kimia bahan dilakukan oleh P.T Itokoh Ceperindo.

3.3 Peralatan Yang Dipergunakan

Peralatan-peralatan yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini sehingga dapat terselesaikan, antara lain :

Proses pembuatan spesimen :

- a. Alat iris/pemotong baja
- b. Mesin bubut

Proses perlakuan dingin :

Mesin rol yang dimiliki Laboratorium Proses Produksi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta

Proses perlakuan panas :

- a. Oven
- b. Alat penjepit
- c. Ampelas

Proses pengujian :

- a. Mesin uji tarik dengan kekuatan 1 ton, milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- b. Ampelas

- c. Autosol
- d. Mesin uji kekerasan jenis Brinell Hardness Tester MOD 100 MR milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma
- e. Lup milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma
- f. Mikroskop tipe Union Microscop buatan Tokyo, Jepang milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma
- g. Kamera Nikon Fm 2 dengan film ASA 100 milik Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma.

3.4 Pengerolan

Untuk mempermudah proses pengerolan, bahan dipotong menjadi 200 mm, kemudian benda uji dirol dengan variasi diameter 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm. Karena mesin rol yang digunakan adalah mesin rol manual, maka untuk mendapatkan diameter yang diinginkan perlu dilakukan percobaan berulang-ulang sampai mendapatkan diameter yang diinginkan. Apabila sudah mendapatkan diameter yang diinginkan setiap benda kerja dirol sekali.

Benda uji yang sudah dilakukan pengerolan kemudian diluruskan kembali. Pelurusan benda uji ini dilakukan hanya sekali.

3.5 Pembuatan Benda Uji

3.5.1 Uji Tarik

Bahan mula-mula berbentuk bulat panjang (diameter 9 mm, panjang 200 mm) sebanyak 25 buah. Bahan yang dirol sebanyak 20 buah dengan variasi

diameter 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm, masing-masing diameter sebanyak 5 buah. Sedangkan 5 buah lainnya tanpa proses pengerolan.

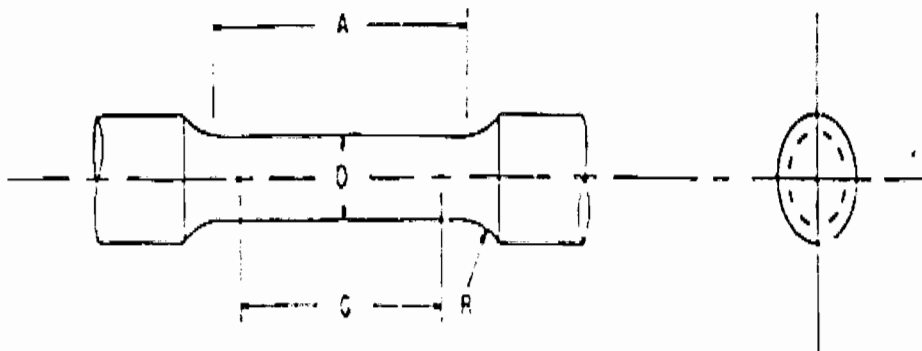
Pembuatan spesimen yang akan dilakukan uji tarik, dibuat dengan mesin bubut di Laboratorium Ilmu Logam Jurusan Teknik Mesin USD. Bentuk dan ukuran spesimen disesuaikan dengan standarisasi ASTM A 370, yaitu :

$$D = 4 \text{ mm}$$

$$A = 20 \text{ mm}$$

$$G = 16 \text{ mm}$$

$$R = 4 \text{ mm}$$



Gambar 3.2 Spesimen Uji Tarik



Tabel 3.1 Ukuran spesimen menurut standar

Nominal Diameter	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard							
	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm
	0.500	12.5	0.350	8.75	0.250	6.25	0.160	4.00	0.113	2.50
$G = G_0 \pm$	$2.0 \pm$	$50.0 \pm$	$1.40 \pm$	$35.0 \pm$	$1.00 \pm$	$25.0 \pm$	$0.640 \pm$	$15.0 \pm$	$0.450 \pm$	$10.0 \pm$
	0.005	0.10	0.005	0.10	0.005	0.10	0.005	0.10	0.005	0.10
$\phi = \phi_0 \pm$ (Note 1)	$0.500 \pm$	$12.5 \pm$	$0.350 \pm$	$8.75 \pm$	$0.250 \pm$	$6.25 \pm$	$0.160 \pm$	$4.00 \pm$	$0.113 \pm$	$2.50 \pm$
	0.010	0.25	0.007	0.18	0.005	0.12	0.003	0.08	0.002	0.05
$R = R_0 \pm$ (Note 2)	$\frac{1}{4}$	6	$\frac{1}{4}$	6	$\frac{1}{4}$	5	$\frac{1}{2}$	4	$\frac{1}{2}$	2
$L = L_0 \pm$ (Note 2)	$2 \pm$	$50 \pm$	$1 \pm$	$45 \pm$	$1 \pm$	$32 \pm$	$1 \pm$	$20 \pm$	$1 \pm$	$16 \pm$

3.5.2 Uji Kekerasan dan Struktur Mikro

Untuk pembuatan spesimen uji kekerasan dan uji struktur mikro hampir sama dengan pembuatan spesimen uji tarik. Bahan yang telah melalui proses pengerolan, dipotong dengan panjang 1 cm atau 100 mm, masing-masing diameter pengerolan sebanyak 3 buah untuk uji kekerasan, sedangkan untuk uji struktur mikro dapat diambil 1 buah dari masing-masing diameter pada spesimen uji kekerasan, kemudian dihaluskan dengan amplas berukuran 150 mesh, 500 mesh, 800 mesh, 1000 mesh. Setelah itu digosok dengan autosol sampai goresan bekas ampelas tidak terlihat lagi.

3.6 Perlakuan Panas

Proses perlakuan panas dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Pada penelitian ini, perlakuan panas yang digunakan adalah proses tempering pada suhu 400°C. Semua bahan yang telah dibuat spesimen, dipanaskan sampai suhu 400°C. Setelah mencapai suhu tersebut, suhu dipertahankan selama 1 jam supaya memperoleh suhu pemanasan yang

merata keseluruhan permukaan, kemudian didinginkan di dalam oven sampai suhu ruang ($\pm 30^{\circ}\text{C}$). Selama pendinginan, oven dibiarkan dalam keadaan tertutup.

3.7 Pengujian Bahan

3.7.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan tujuan untuk menentukan sifat-sifat mekanis material antara lain kekuatan tarik, regangan.

Urutan proses dari pengujian tarik adalah sebagai berikut :

- a. Benda uji dipasang pada penjepit atas dan bawah pada mesin uji tarik. Naikkan dan turunkan penjepit bawah dengan kecepatan rendah sehingga penjepit pada posisi yang tepat, diusahakan agar kedudukan dari benda uji betul-betul vertikal, kemudian kencangkan kedua penjepit secukupnya.
- b. Beban tarik diberikan pada benda uji, sehingga benda uji akan bertambah panjang dan sampai pada beban tertentu benda uji akan putus atau patah. Perpatahan yang diharapkan adalah pada bagian panjang ukur benda uji. Apabila patah terjadi di luar panjang benda uji, pengujian tersebut dikatakan gagal. Apabila terjadi demikian maka pengujian diulang dengan mengganti benda uji yang baru.
- c. Data dicatat beban maksimal dan pertambahan panjang .

3.7.2 Pengujian Kekerasan

Langkah-langkah proses pengujian kekerasan Brinell sebagai berikut :

- a. Permukaan benda uji diratakan dengan kertas ampelas dari ukuran yang paling kasar ke paling halus (150, 500, 800, 1000) kemudian dilakukan pemolesan dengan menggunakan autosol sampai permukaan benda uji mengkilap.
- b. Benda uji yang sudah rata dan sudah halus diletakkan pada meja uji atau dudukan yang tepat, kemudian dilakukan penekanan sebanyak 3 titik. Pemberian titik pada benda uji disesuaikan dengan permukaan benda uji yang terkena beban pada saat proses pengerolan yaitu permukaan benda uji yang terkena beban tarik normal, permukaan tengah, permukaan yang terkena beban tekan normal. Penekanan benda uji dengan cara memutar handle penekan, beban yang dipergunakan adalah 187,5 kg dan diameter bola baja yang dipakai adalah 2,5 mm
- c. Setelah selesai melakukan penekanan kemudian benda uji dipindahkan dari alat uji, amati dan ukur diameternya, bekas penekanan dengan loop berskala atau mikroskop.
- d. Besar diameter titik yang diperoleh dicatat dan lakukan perhitungan nilai kekerasannya.

3.7.3 Struktur mikro

Proses pengujian struktur mikro adalah sebagai berikut :

- a. Permukaan logam yang telah dibentuk diampelas mulai dari ukuran ampelas yang kasar sampai ukuran yang halus.

- b. Apabila permukaan spesimen telah halus maka dipoles dengan menggunakan autosol sampai goresan akibat pengampelasan hilang dan mengkilap.
- c. Dilakukan pengetsaan dengan asam nitrit dan alkohol dengan memasukkan ke dalam cairan asam nitrit (HNO_3) 5 % selama 30 detik, sambil digoyang-goyangkan.
- d. Permukaan yang telah diamati di bawah mikroskop logam dan lakukan pemotretan dengan perbesaran tertentu.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Komposisi Kimia

Dari hasil pengujian komposisi kimia, dapat dilihat bahwa kadar karbon pada bahan yang digunakan cukup rendah.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian komposisi

Fe = 99,26	C = 0,140	Si = 0,054	Mn 0,430	P = 0,017
S = 0,014	Ni < 0,012	Cr 0,024	Mo < 0,004	Cu < 0,004

4.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik digunakan untuk menentukan kekuatan tarik, tegangan patah, kontraksi dan regangan melalui perhitungan dari data hasil pengujian yang telah dilakukan.

Untuk menghitung kekuatan tarik (σ_u) digunakan persamaan (2.1) yaitu:

$$\text{Nilai kekuatan tarik } (\sigma_u) = \frac{P_{maks}}{A_o}$$

$$A_o = \frac{\pi}{4}(d_0)^2$$

Dengan :

P_{maks} : Beban maksimal (kg)

A_o : Luas penampang awal (mm²)

d_0 : Diameter awal (mm)

Dari data hasil pengujian pada tabel 4.2 dapat dihitung

$$\begin{aligned}
 A_o &= \frac{\pi}{4}(d_0)^2 \\
 &= \frac{\pi}{4}(4,4)^2 \\
 &= 12,56 \text{ mm}^2 \\
 \sigma_u &= \frac{P_{maks}}{A_o} \\
 &= \frac{787,1}{12,56} \\
 &= 62,67 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung tegangan patah (σ_b) digunakan persamaan (2.2) yaitu:

$$\text{Nilai tegangan patah } (\sigma_b) = \frac{P_{break}}{A_o}$$

Dari data hasil pengujian dapat dihitung

$$\begin{aligned}
 \sigma_b &= \frac{P_{break}}{A_o} \\
 &= \frac{511,62}{12,56} \\
 &= 40,73 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung kontraksi (ψ) digunakan persamaan (2.3) yaitu

$$\text{Nilai kontraksi } (\psi) = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right)$$

Dengan :

$$A_f : \frac{\pi}{4} (d_f)^2$$

A_f : Luas penampang setelah patah (mm^2)

d_f : Diameter penampang setelah patah (mm)

Dari data hasil pengujian dapat dihitung

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{\pi}{4} (d_f)^2 \\ &= \frac{\pi}{4} (2,3)^2 \\ &= 4,15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi &= \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \\ &= \left(\frac{12,56 - 4,15}{12,56} \right) \times 100 \\ &= 66,94 \end{aligned}$$

Untuk menghitung regangan (ϵ) digunakan persamaan (2.4) yaitu:

$$\text{Nilai regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

Dengan :

ΔL : Pertambahan panjang (mm)

L_0 : Panjang awal (mm)

Dari data hasil pengujian dapat dihitung

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \\ &= \frac{3,6}{16} \times 100\% \\ &= 22,5\% \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan di atas didapat data hasil perhitungan sebagai berikut:

4.2.1 Benda uji yang tanpa mengalami pengerolan kemudian ditemper dengan suhu 400° C

Data hasil pengujian tarik 5 buah spesimen yang tidak mengalami pengerolan :

Tabel 4.2 Data pengujian tarik untuk benda uji tidak mengalami pengerolan dan telah ditemper dengan suhu 400°C

Spesimen	d_0 (mm)	d_f (mm)	L_0 (mm)	ΔL (mm)	P_{maks} (kg)
1	4	2,3	16	3,6	787,1
2	4,05	2,45	16	3,2	803,2
3	4,05	2,3	16	3,2	746,2
4	4,05	2,3	16	3,6	727,8
5	4,05	2,2	16	3,4	793,1

Tabel 4.3 Data hasil perhitungan pada pengujian tarik untuk benda uji yang tidak mengalami pengerolan dan telah ditemper dengan suhu 400°C

Spesimen	P_{break}	A_o (mm ²)	A_f (mm ²)	σ_u (kg/mm ²)	σ_b (kg/mm ²)	Ψ	ϵ
1	511,64	12,56	4,15	62,67	40,73	66,94	22,5
2	511,84	12,88	4,71	62,38	39,75	63,41	20
3	439,87	12,88	4,15	57,95	34,16	67,75	20
4	435,09	12,88	4,15	56,52	33,79	67,75	22,5
5	491,72	12,88	3,79	61,59	38,19	70,49	21,25
rata-rata				60,22	37,33	67,27	21,25

4.2.2 Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm kemudian ditemper dengan suhu 400°C

Data hasil pengujian tarik 5 buah spesimen yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm:

Tabel 4.4 Data pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C

Spesimen	d_o (mm)	d_f (mm)	L_o (mm)	ΔL (mm)	P_{maks} (kg)
1	4	2,2	16	3,3	716,5
2	3,95	2,2	16	3,5	675,1
3	4	2,3	16	3,3	778,1
4	4,05	2,2	16	3,3	725,1
5	4	2,2	16	3,3	744,4

Data hasil pengujian tarik 5 buah spesimen yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C sebagai berikut:

Dari perhitungan seperti pada contoh perhitungan pada sub bab 4.2 maka didapat data hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.5 Data hasil perhitungan pada pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C

Spesimen	P_{break}	A_o (mm ²)	A_f (mm ²)	σ_u (kg/mm ²)	σ_b (kg/mm ²)	ψ	ϵ
1	425,18	12,56	3,79	57,05	33,85	69,75	20,625
2	408,2	12,25	3,79	55,12	33,33	68,98	21,875
3	487,29	12,56	4,15	61,95	38,79	66,94	20,625
4	425,6	12,88	3,79	56,31	33,05	70,49	20,625
5	406,04	12,56	3,79	59,27	32,33	69,75	20,625
rata-rata				57,94	34,27	69,18	20,875

4.2.3 Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm kemudian ditemper dengan suhu 400°C

Data hasil pengujian tarik 5 buah spesimen yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm:

Tabel 4.6 Data pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C

Spesimen	d_0 (mm)	d_f (mm)	L_0 (mm)	ΔL (mm)	P_{maks} (kg)
1	4,05	2,2	16	3,4	797,9
2	4,05	2,3	16	3,2	781,2
3	4	2,1	16	3,4	735,3
4	4	2,2	16	3,5	711,9
5	4,05	2,3	16	3,3	745,1

Dari perhitungan seperti pada contoh perhitungan pada sub bab 4.2 maka didapat data hasil perhitungan

Tabel 4.7 Data hasil perhitungan pada pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C

Spesimen	P_{break}	A_o (mm ²)	A_f (mm ²)	σ_u (kg/mm ²)	σ_b (kg/mm ²)	ψ	ϵ
1	505,6	12,88	12,88	61,97	39,27	70,49	21,25
2	497,82	12,56	12,88	60,67	38,66	67,75	20
3	434,85	12,56	12,56	58,54	34,62	72,44	21,25
4	435,05	12,88	12,56	56,68	34,67	69,75	21,875
5	443,89	12,56	12,88	57,87	34,47	67,75	20,625
rata-rata				59,15	36,33	69,65	21

4.2.4 Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm kemudian ditemper dengan suhu 400°C

Data hasil pengujian tarik 5 buah spesimen yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm sebagai berikut:

Tabel 4.8 Data pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C

Spesimen	d_0 (mm)	d_f (mm)	L_0 (mm)	ΔL (mm)	P_{maks} (kg)
1	4,05	2,25	16	3,4	732,7
2	4	2,3	16	3,6	721,9
3	4	2,3	16	3,2	730,2
4	4,05	2,4	16	3,3	793,2
5	4	2,2	16	3,4	776,8

Dari perhitungan seperti pada contoh perhitungan pada sub bab 4.2 maka didapat data hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4.9 Data hasil perhitungan pada pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C

Spesimen	P_{break}	A_o (mm ²)	A_f (mm ²)	σ_u (kg/mm ²)	σ_b (kg/mm ²)	ψ	ϵ
1	433,32	12,88	3,97	56,9	33,66	69,14	21,25
2	431,57	12,56	4,15	57,48	34,36	66,94	22,5
3	436,53	12,56	4,15	58,14	34,76	66,94	20
4	494,77	12,88	4,52	61,6	38,43	64,88	20,625
5	494,33	12,56	3,79	61,85	39,36	69,75	21,25
rata-rata				59,19	36,11	67,53	21,125

4.2.5 Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm kemudian ditemper dengan suhu 400°C

Data hasil pengujian tarik 5 buah spesimen yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm sebagai berikut:

Tabel 4.10 Data pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C

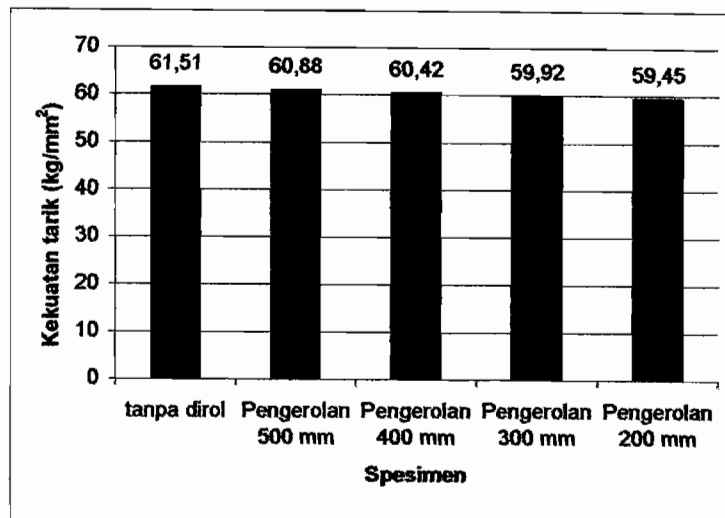
Spesimen	d_o (mm)	d_f (mm)	L_o (mm)	ΔL (mm)	P_{maks} (kg)
1	4,05	2,3	16	3,5	743,5
2	4	2,25	16	3,2	784,8
3	4,05	2,45	16	3,2	803,4
4	4,05	2,45	16	3,3	784,4
5	4,05	2,4	16	3,3	729,8

Dari perhitungan seperti pada contoh perhitungan pada sub bab 4.2 maka didapat data hasil perhitungan sebagai berikut :

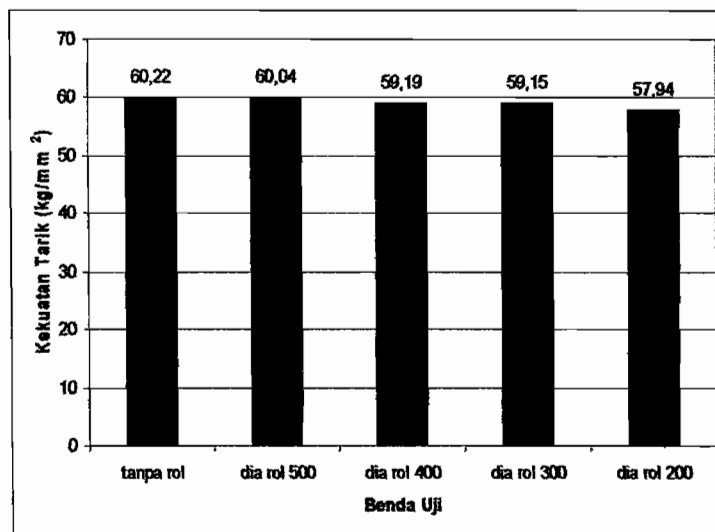
Tabel 4.11 Data hasil perhitungan pada pengujian tarik untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm dan telah ditemper dengan suhu 400°C

Spesimen	P_{break}	A_o (mm^2)	A_f (mm^2)	σ_u (kg/mm^2)	σ_b (kg/mm^2)	ψ	ϵ
1	435,03	12,88	4,15	57,74	33,75	67,75	22,5
2	486,58	12,56	3,97	62,48	38,74	68,36	20,625
3	511,97	12,88	4,712	62,39	39,76	63,41	20,625
4	502,02	12,88	4,71	60,92	38,99	63,41	20,625
5	436,29	12,88	4,52	56,68	33,89	64,88	21,25
rata-rata				60,04	37,03	65,56	21,125

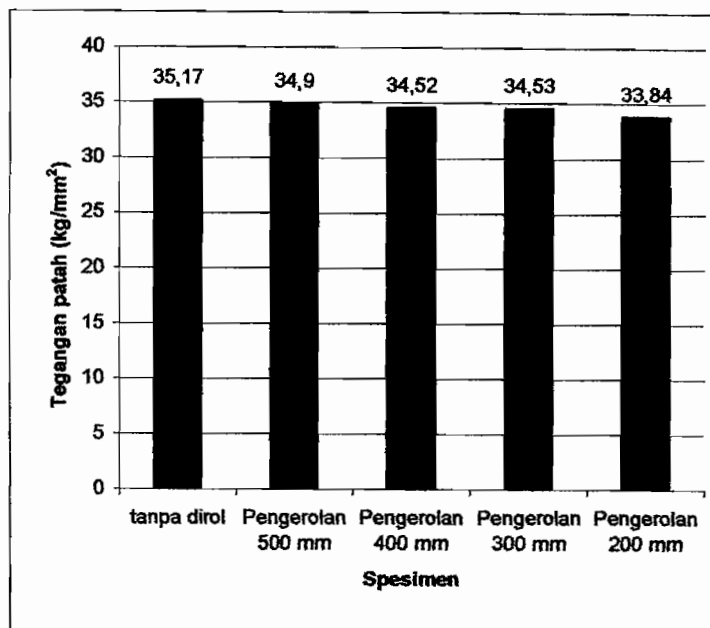
Dari hasil perhitungan data-data pengujian tarik dapat terlihat bagaimana pengaruh diameter pengerolan dan pengaruh perlakuan panas yaitu tempering pada suhu 400°C terhadap kekuatan tarik, tegangan patah, dan regangan. Seperti pada gambar-gambar berikut ini:



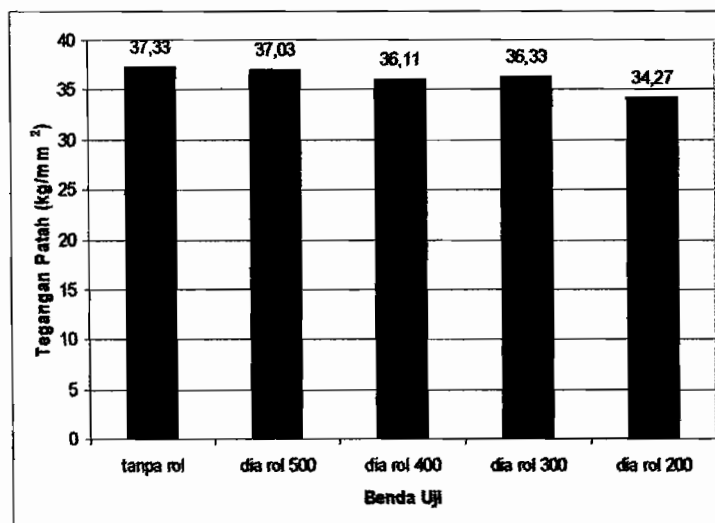
Gambar 4.1 Grafik kekuatan tarik baja karbon rendah
(Sumber: Tugas Akhir Anastasius Rudy, hal 50)



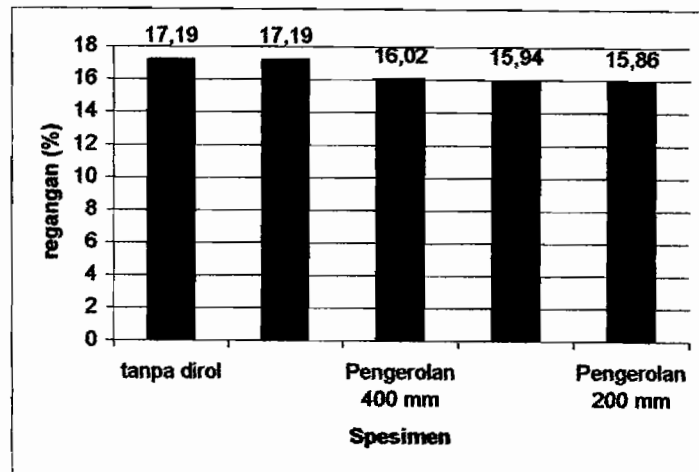
Gambar 4.2 Grafik kekuatan tarik terhadap benda uji setelah ditemper 400°C



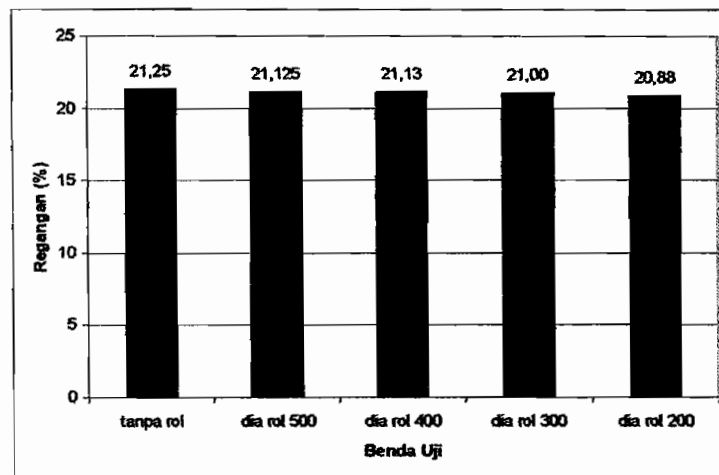
Gambar 4.3 Grafik tegangan patah baja karbon rendah
(Sumber: Tugas Akhir Anastasius Rudy, hal 50)



Gambar 4.4 Grafik tegangan patah terhadap benda uji setelah ditemper 400°C



Gambar 4.5 Grafik regangan baja karbon rendah
(Sumber: Tugas Akhir Anastasius Rudy, hal 52)



Gambar 4.6 Grafik regangan terhadap benda uji setelah ditemper 400°C

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa benda uji yang telah mengalami perlakuan temper 400°C selain terjadi penurunan tegangan dalam, juga terjadi penurunan kekuatan tarik, hal ini disebabkan karena pada temper suhu 400°C terjadi pengendapan sementit.

Dari gambar 4.1 dan gambar 4.3 dapat dilihat juga bahwa pengerolan berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan regangan. Semakin kecil diameter pengerolan akan semakin kecil kekuatan tarik, walaupun terlihat tidak terlalu signifikan. Hal ini disebabkan karena pada saat pengerolan, benda uji mengalami gaya tekan dan gaya tarik pada permukaan yang berbeda. Dan pada saat pelurusan benda uji akan mengalami gaya yang berlawanan dengan gaya pada saat pengerolan. Tetapi gaya-gaya tersebut hanya terjadi di sisi-sisi permukaan benda uji saja. Sehingga setelah pembubutan, perubahan kekuatan tarik dan tegangan patah tidak terlalu terlihat signifikan.

Pada gambar 4.3 dapat dilihat juga, semakin kecil diameter pengerolan akan semakin kecil regangan yang dialami. Hal ini disebabkan karena proses pengerolan dan pelurusan kembali mengakibatkan adanya cacat butiran. Cacat butiran ini tidak bisa diperbaiki dengan penemperan sehingga menyebabkan nilai regangan menjadi semakin kecil dan bahan menjadi getas.

4.3 Pengujian Kekerasan

4.3.1 Benda uji yang tidak mengalami pengerolan kemudian ditemper dengan suhu 400°C

Untuk menghitung kekerasan (BHN) digunakan persamaan (2.5) yaitu:

$$\text{Nilai kekerasan (BHN)} = \frac{2 \times P}{\pi \times D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Dengan :

P : Gaya penekanan (kg)

D : Diameter indenter (mm)

d : diameter bekas injakan (mm)

contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Nilai kekerasan (BHN)} &= \frac{2 \times P}{\pi \times D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \\ &= \frac{2 \times 187,5}{\pi \times 2,5 \left(2,5 - \sqrt{2,5^2 - 1,15^2} \right)} \\ &= 170,49 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Dari contoh perhitungan data hasil pengujian kekerasan sehingga didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4.12 Data pengujian kekerasan untuk benda uji yang tidak mengalami pengerolan

Spesimen	P	D	d			BHN		
			sisi tekan	tengah	sisi tarik	sisi tekan	tengah	sisi tarik
1	187,5	2,5	1,15	1,17	1,16	170,49	164,34	167,37
2	187,5	2,5	1,16	1,16	1,16	167,37	167,37	167,37
3	187,5	2,5	1,17	1,16	1,17	164,34	167,37	164,34
Rata-rata						167,40	166,36	166,36

4.3.2 Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm kemudian ditemper dengan suhu 400° C

Dari contoh perhitungan data hasil pengujian kekerasan sehingga didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4.13 Data pengujian kekerasan untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm.

Spesimen	P	D	D			BHN		
			sisi tekan	tengah	sisi tarik	sisi tekan	tengah	sisi tarik
1	187,5	2,5	1,15	1,16	1,24	170,49	167,37	145,11
2	187,5	2,5	1,15	1,15	1,25	170,49	170,49	142,63
3	187,5	2,5	1,16	1,15	1,25	167,37	170,49	142,63
Rata-rata						169,45	169,45	143,46

4.3.3 Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm kemudian ditemper dengan suhu 400° C

Dari contoh perhitungan data hasil pengujian kekerasan sehingga didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4.14 Data pengujian kekerasan untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm

Spesimen	P	D	d			BHN		
			sisi tekan	tengah	sisi tarik	sisi tekan	tengah	sisi tarik
1	187,5	2,5	1,16	1,16	1,24	167,37	167,37	145,11
2	187,5	2,5	1,17	1,16	1,22	164,34	167,37	150,27
3	187,5	2,5	1,14	1,16	1,22	173,68	167,37	150,27
Rata-rata						168,47	167,37	148,55

4.3.4 Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm kemudian ditemper dengan suhu 400° C

Dari contoh perhitungan data hasil pengujian kekerasan sehingga didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4.15 Data pengujian kekerasan untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm

Spesimen	P	D	d			BHN		
			sisi tekan	tengah	sisi tarik	sisi tekan	tengah	sisi tarik
1	187,5	2,5	1,15	1,15	1,24	170,49	170,49	145,11
2	187,5	2,5	1,17	1,16	1,2	164,34	167,37	155,69
3	187,5	2,5	1,15	1,17	1,24	170,49	164,34	145,11
Rata-rata						168,44	167,40	148,64

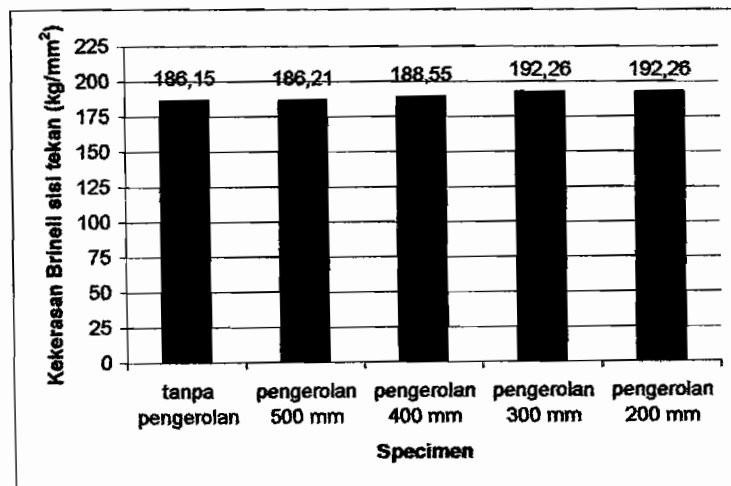
4.3.5 Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm kemudian ditemper dengan suhu 400° C

Dari contoh perhitungan data hasil pengujian kekerasan sehingga didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

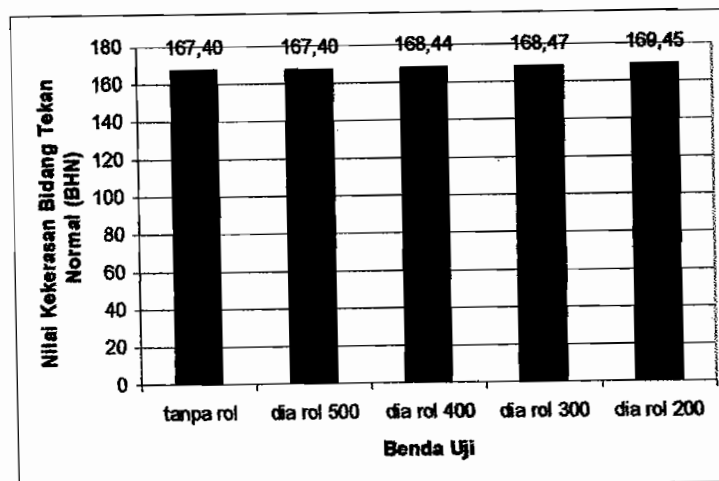
Tabel 4.16 Data pengujian kekerasan untuk benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm

Spesimen	P	D	D			BHN		
			sisi tekan	tengah	sisi tarik	sisi tekan	tengah	sisi tarik
1	187,5	2,5	1,15	1,15	1,24	170,49	170,49	145,11
2	187,5	2,5	1,17	1,17	1,18	164,34	164,34	161,39
3	187,5	2,5	1,16	1,17	1,21	167,37	164,34	152,95
Rata-rata						167,40	166,39	153,15

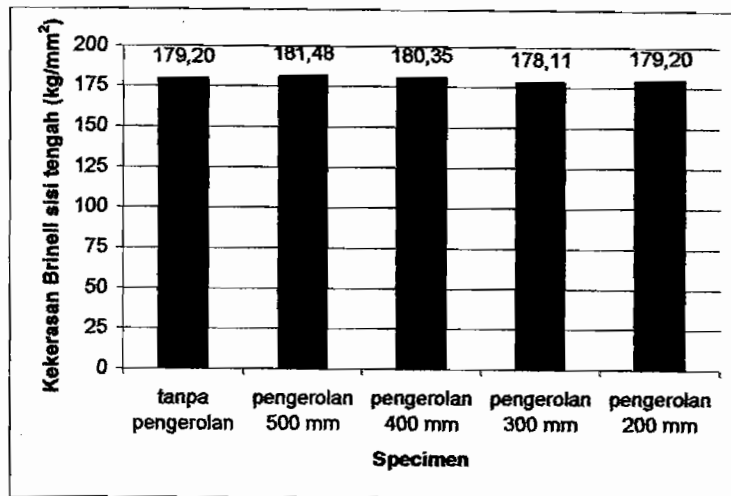
Dari hasil perhitungan data-data uji kekerasan dapat terlihat bagaimana pengaruh diameter pengerolan dan pengaruh perlakuan panas yaitu tempering pada suhu 400°C terhadap kekerasan. Seperti pada gambar-gambar berikut ini:



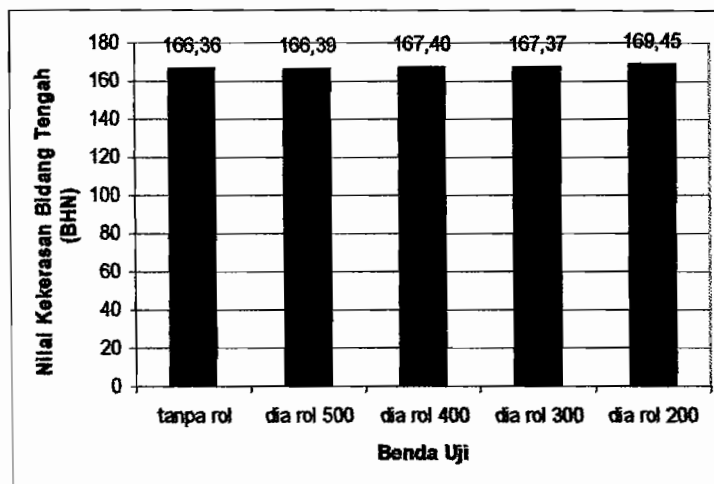
Gambar 4.7. Grafik kekerasan Brinell sisi tekan baja karbon rendah (Sumber: Tugas Akhir Anastasius Rudy, hal 55)



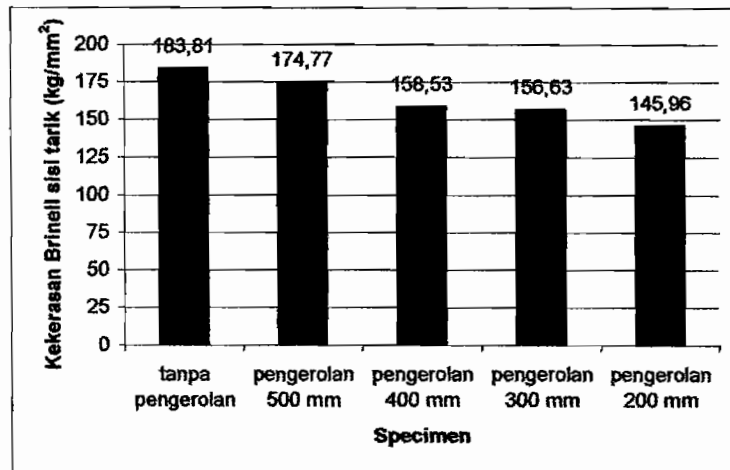
Gambar 4.8 Grafik nilai kekerasan pada bidang bekan-normal Terhadap benda uji setelah ditemper 400°C



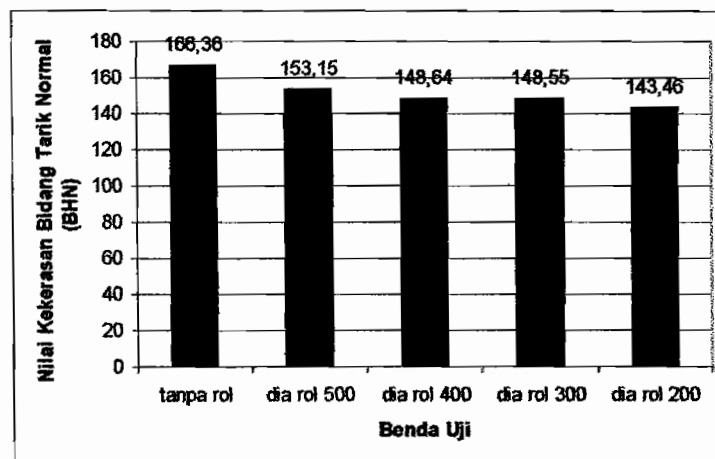
Gambar 4.9. Grafik kekerasan Brinell sisi tengah baja karbon rendah
(Sumber: Tugas Akhir Anastasius Rudy, hal 55)



Gambar 4.10 Grafik nilai kekerasan pada bidang tengah terhadap benda uji setelah ditemper 400°C



Gambar 4.11. Grafik kekerasan Brinell sisi tarik baja karbon rendah (Sumber: Tugas Akhir Anastasius Rudy, hal 56)



Gambar 4.12 Grafik nilai kekerasan pada bidang tarik-normal terhadap benda uji setelah ditemper 400°C

Dari gambar 4.5 dapat dilihat akibat pengaruh temper suhu 400°C. Pada penemperan 400°C menyebabkan pengendapan sementit. Peningkatan suhu penemperan akan mempercepat penggumpalan karbida dengan diiringi penurunan kekerasan.

Dari gambar 4.5 dapat dilihat juga pengaruh pengerolan. Pada bidang yang mengalami tekan normal memiliki kekerasan lebih tinggi dari pada bidang tarik normal. Hal ini disebabkan karena pada saat pengerolan bidang tekan normal mengalami gaya tekan terlebih dahulu, sehingga butiran akan merapat dan kekerasannya meningkat. Semakin kecil diameter pengerolan, gaya tekan yang diterima akan semakin besar, sehingga butiran akan lebih rapat dan angka kekerasannya akan semakin meningkat. Pada saat pelurusan kembali, pada bidang ini mengalami gaya tarik sehingga butiran yang tadinya merapat akan mendapatkan tarikan. Hal ini menyebabkan butiran akan tertarik atau meregang sehingga kekerasan akan turun kembali. Tetapi proses pelurusan tadi tidak mengembalikan butiran seperti semula. Sehingga bidang yang semula mengalami gaya tekan akan lebih keras daripada bidang yang semula mengalami gaya tarik.

4.4 Pengamatan Struktur Mikro

Untuk perhitungan perbesaran struktur mikro menggunakan perbesaran 100 kali. Contoh perhitungan perbesaran struktur mikro sebagai berikut:

1. Kawat diukur diameternya dengan jangka sorong, didapatkan diameter jangka sorong.

$$\text{Diameter kawat} = dk = 0,11 \text{ mm}$$

2. Kemudian kawat difoto mikro dengan perbesaran 100 kali, kemudian diukur diameter kawat pada gambar hasil foto mikro, didapatkan diameternya.

$$\text{Diameter kawat pada foto} = Dk = 20 \text{ mm}$$

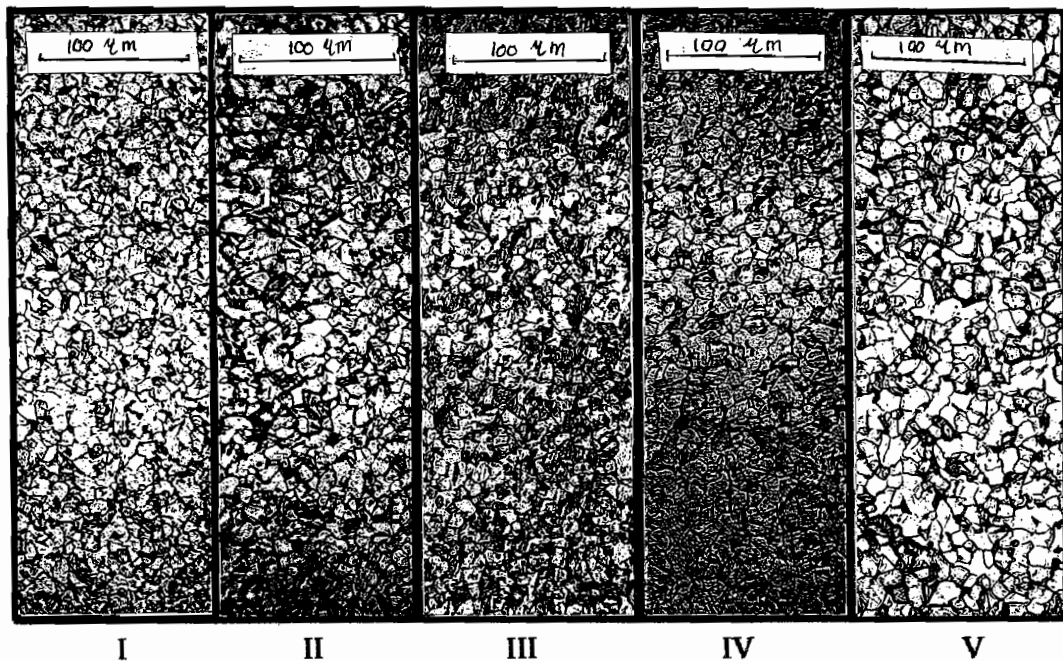
3. Maka didapatkan skala perbesaran hasil foto adalah

$$\text{Perbesaran} = Z = \frac{Dk}{dk} = \frac{20}{0,11} = 182 \text{ kali}$$

4. Dengan demikian jika mengukur dalam hasil pengukuran misalnya 20 mm maka ukuran sebenarnya adalah

$$Y = \frac{20}{182} = 0,11 \text{ mm} = 110 \text{ mikrometer}$$

berikut ini adalah gambar hasil foto struktur mikro :



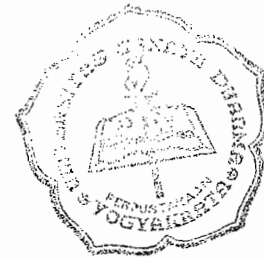
Gambar 4.7 Gambar Struktur mikro dari benda uji setelah mengalami temper 400°C

- Keterangan
- I = Benda uji yang tidak mengalami pengerolan
 - II = Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm
 - III = Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm

IV = Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm

V = Benda uji yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm

Pada struktur mikro tidak terjadi perubahan struktur butiran akibat pengerolan ataupun perlakuan temper pada suhu 400°C. Hal ini disebabkan karena pengaruh pengerolan terhadap gaya tekan-normal dan gaya tarik normal belum terlihat oleh mikroskop dengan perbesaran 100×, sedangkan apabila baja karbon rendah dipanaskan di bawah suhu 723°C tidak terjadi perubahan ukuran struktur butiran.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian pada baja karbon rendah yang dilaksanakan di Laboratorium Proses Produksi dan Laboratorium Ilmu Logam Universitas Sanata Dharma dapat di tarik kesimpulan bahwa :

1. Bahan yang tidak mangalami pengerolan dan yang telah mengalami proses pengerolan dengan diameter yang berbeda kemudian ditemper pada suhu 400°C akan memiliki kekuatan tarik yang berbeda. Semakin kecil diameter pengerolan kekuatan tariknya akan semakin rendah dan bahan akan menjadi getas karena semakin kecil diameter pengerolan regangan juga akan semakin kecil.
2. Baja karbon rendah yang ditemper pada suhu 400°C menyebabkan terjadinya penurunan kekerasan. Sedangkan pengerolan menyebabkan nilai kekerasan di setiap permukaan berbeda. Pada bidang tekan normal memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada bidang tarik normal, sedangkan bidang tengah memiliki nilai kekerasan yang hampir sama dengan bidang tekan normal.
3. Pada pengamatan struktur mikro tidak tampak perubahan.

5.2 Saran-saran

1. Agar penelitian dapat diperoleh hasil yang maksimal, sangat diperlukan ketelitian pada langkah-langkah kerja yang dilakukan, serta ketekunan dalam pengerjaannya.
2. Untuk mendukung proses penelitian, sarana dan alat-alat harus lebih ditingkatkan lagi agar diperoleh hasil penelitian yang cermat dan akurat.
3. Karena pentingnya literatur dalam suatu penelitian, maka dengan adanya perpustakaan yang lengkap dan memadai akan sangat mendukung dalam proses penelitian dan analisa hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Amstead, B.H. Ostwald, P. F. Begemen, M.L. 1989. *Teknologi Mekanik Jilid 1*.

Djaprie, Sriati. Jakarta : Erlangga.

Dieter, G. E. 1987 *Metalurgi Mekanik Jilid 1*. Djaprie, Sriati. Jakarta: Erlangga.

Dieter, G. E. 1987 *Metalurgi Mekanik Jilid 2*. Djaprie, Sriati. Jakarta: Erlangga.

Smallman, R. E. Bishop. R. J. 1987 *Metalurgi Mekanik Jilid 1*. Djaprie, Sriati.

Jakarta: Erlangga.

Surdia, T. Saito, S. 1984. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Van Vlack, L. H. 1991. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Djaprie, Sriati. Jakarta:

Erlangga.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data uji komposisi

COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
SAMPLE NAME : BAJA KARBON RENDAH-HERI-SADAR
FURNACE : KC0750A-04/86
OPERATOR : MARYADI
Alloy : SC Mode : PA 9-Mar-1974 Time 13:38

Burn 1

Fe 99.27	C 0.144	Si 0.055	Mn 0.425	P 0.017
S 0.015	Ni < 0.012	Cr 0.024	Mo < 0.004	Cu < 0.004
Al < 0.000	Nb < 0.00	V < 0.00	W 0.05	Ti < 0.00

Burn 2

Fe 99.26	C 0.145	Si 0.052	Mn 0.430	P 0.018
S 0.014	Ni < 0.012	Cr 0.023	Mo < 0.004	Cu < 0.004
Al < 0.000	Nb < 0.00	V < 0.00	W 0.06	Ti < 0.00

Burn 3

Fe 99.27	C 0.132	Si 0.053	Mn 0.436	P 0.018
S 0.014	Ni < 0.012	Cr 0.025	Mo < 0.004	Cu < 0.004
Al < 0.000	Nb 0.00	V < 0.00	W 0.05	Ti < 0.00

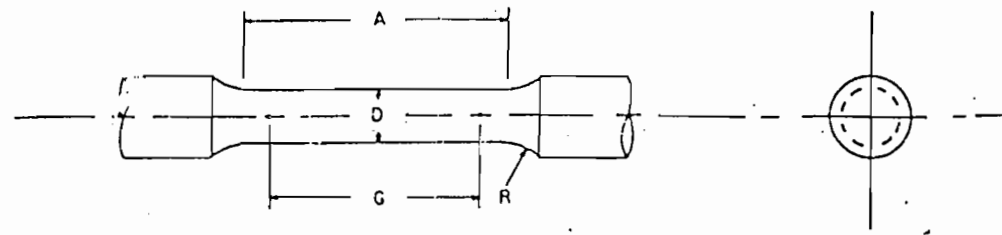
Average

Fe 99.26	C 0.140	Si 0.054	Mn 0.430	P 0.017
S 0.014	Ni < 0.012	Cr 0.024	Mo < 0.004	Cu < 0.004
Al < 0.000	Nb < 0.00	V < 0.00	W 0.05	Ti < 0.00

PT. ITOKOH CEPERINDO

Lampiran 2

Ukuran benda kerja uji tarik



DIMENSIONS

Nominal Diameter	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard							
	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm
	0.500	12.5	0.350	8.75	0.250	6.25	0.160	4.00	0.113	2.50
G—Gage length	2.00 ± 0.005	50.0 ± 0.10	1.400 ± 0.005	35.0 ± 0.10	1.000 ± 0.005	25.0 ± 0.10	0.640 ± 0.005	16.0 ± 0.10	0.450 ± 0.005	10.0 ± 0.10
—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	12.5 ± 0.25	0.350 ± 0.007	8.75 ± 0.18	0.250 ± 0.005	6.25 ± 0.12	0.160 ± 0.003	4.00 ± 0.08	0.113 ± 0.002	2.50 ± 0.05
R—Radius of fillet, in/mm	¼	10	¼	6	⅛	5	⅜	4	⅜	2
A—Length of reduced section, in (Note 2)	2¼	60	1¼	45	1¼	32	¾	20	¾	16

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 percent larger in diameter than the center (controlling dimension).

NOTE 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gage length.

NOTE 3—The gage length and fillets shall be as shown, but the ends may be of any form, to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—On the round specimens in Figs. 5 and 6, the gage lengths are equal to four times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but unless the 4-to-1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

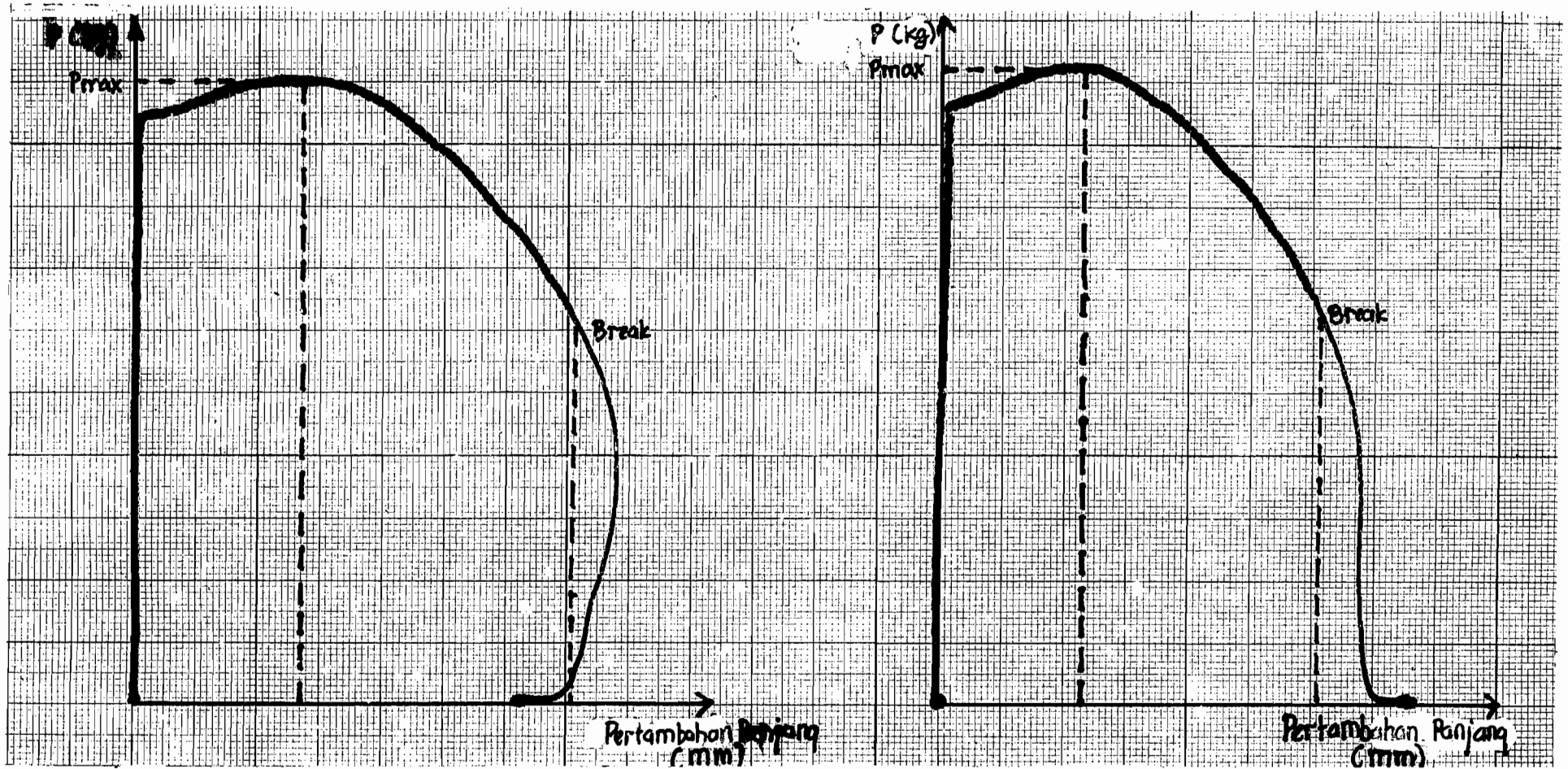
NOTE 5—The use of specimens smaller than 0.250-in. (6.25-mm) diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

NOTE 6—Five sizes of specimens often used have diameters of approximately 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in., the reason being to permit easy calculations of stress from loads, since the corresponding cross sectional areas are equal or close to 0.200, 0.100, 0.0500, 0.0200, and 0.0100 in.², respectively. Thus, when the actual diameters agree with these values, the stresses (or strengths) may be computed using the simple multiplying factors 5, 10, 20, 50, and 100, respectively. (The metric equivalents of these fixed diameters do not result in correspondingly convenient cross sectional area and multiplying factors.)

FIG. 5 Standard 0.500-in. (12.5-mm) Round Tension Test Specimen with 2-in. (50-mm) Gage Length and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimens

Lampiran 3

Grafik P- ΔL

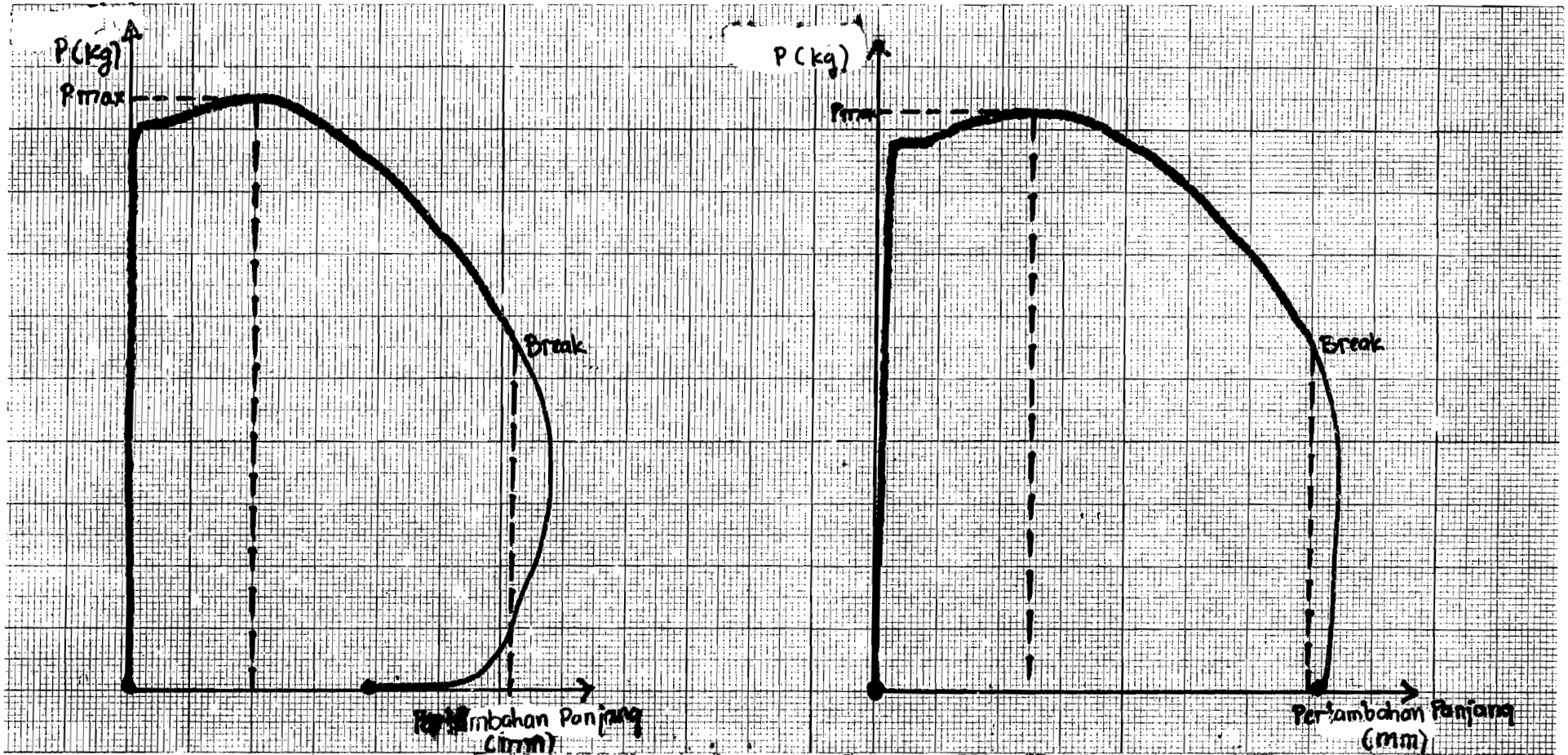


Spesimen 1

Spesimen 2

Grafik uji tarik tanpa mengalami pengerolan kemudian ditemper suhu 400°C

Grafik P- ΔL

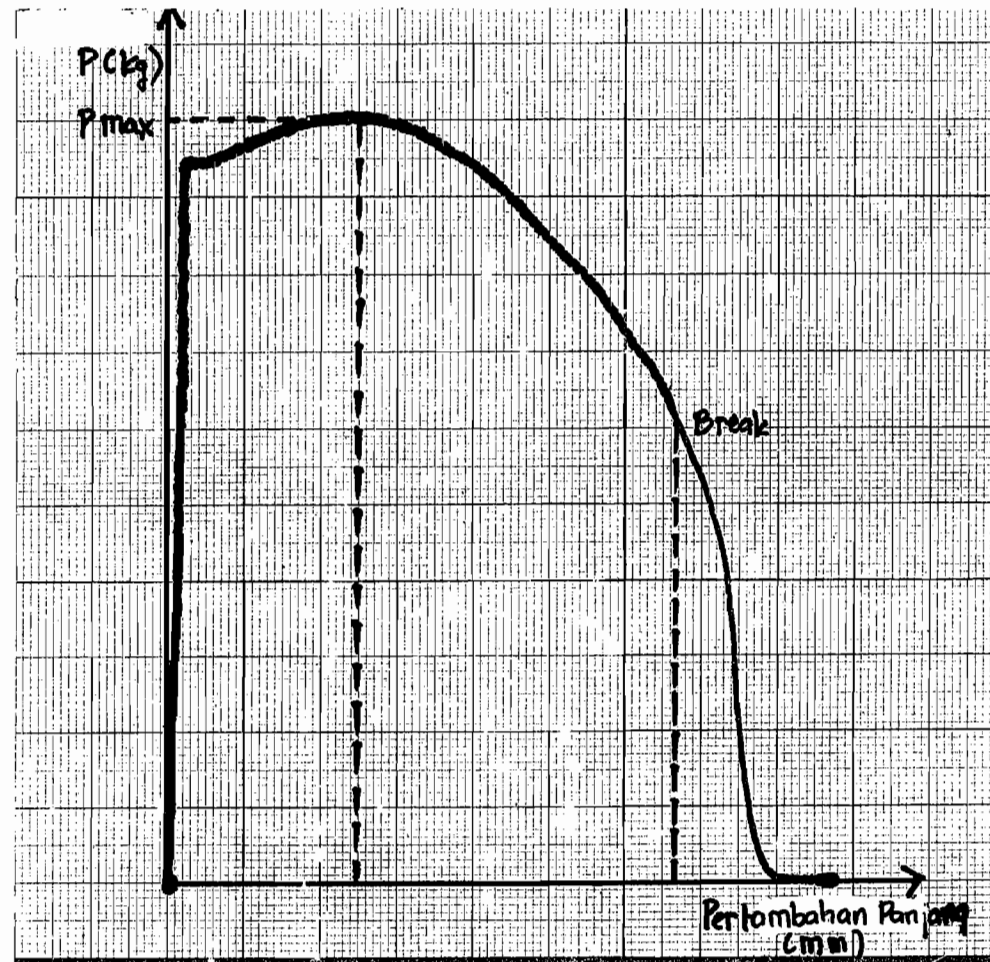


Spesimen 3

Spesimen 4

Grafik uji tarik tanpa mengalami pengerolan kemudian ditemper suhu 400°C

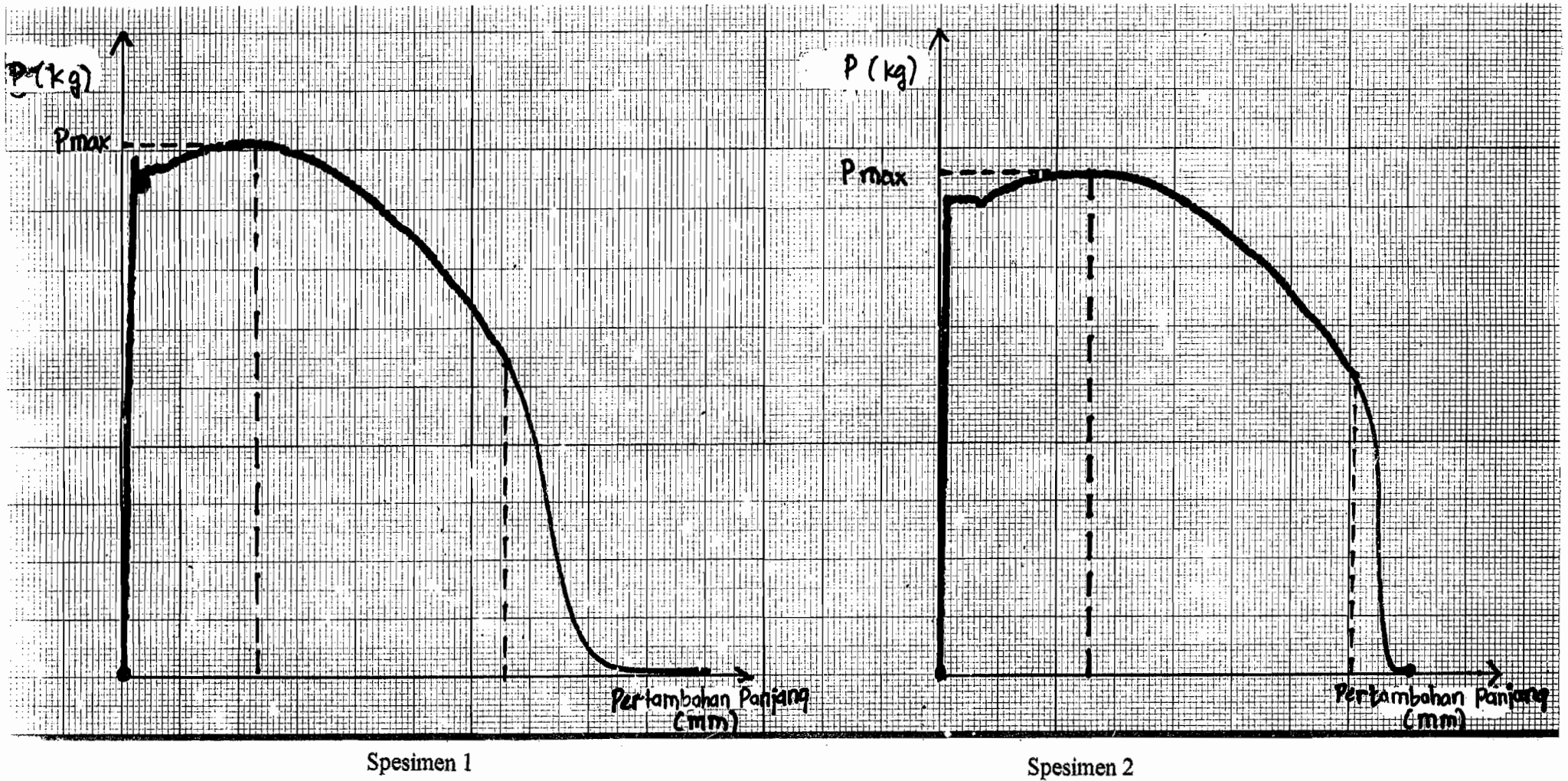
Grafik P- ΔL



Spesimen 5

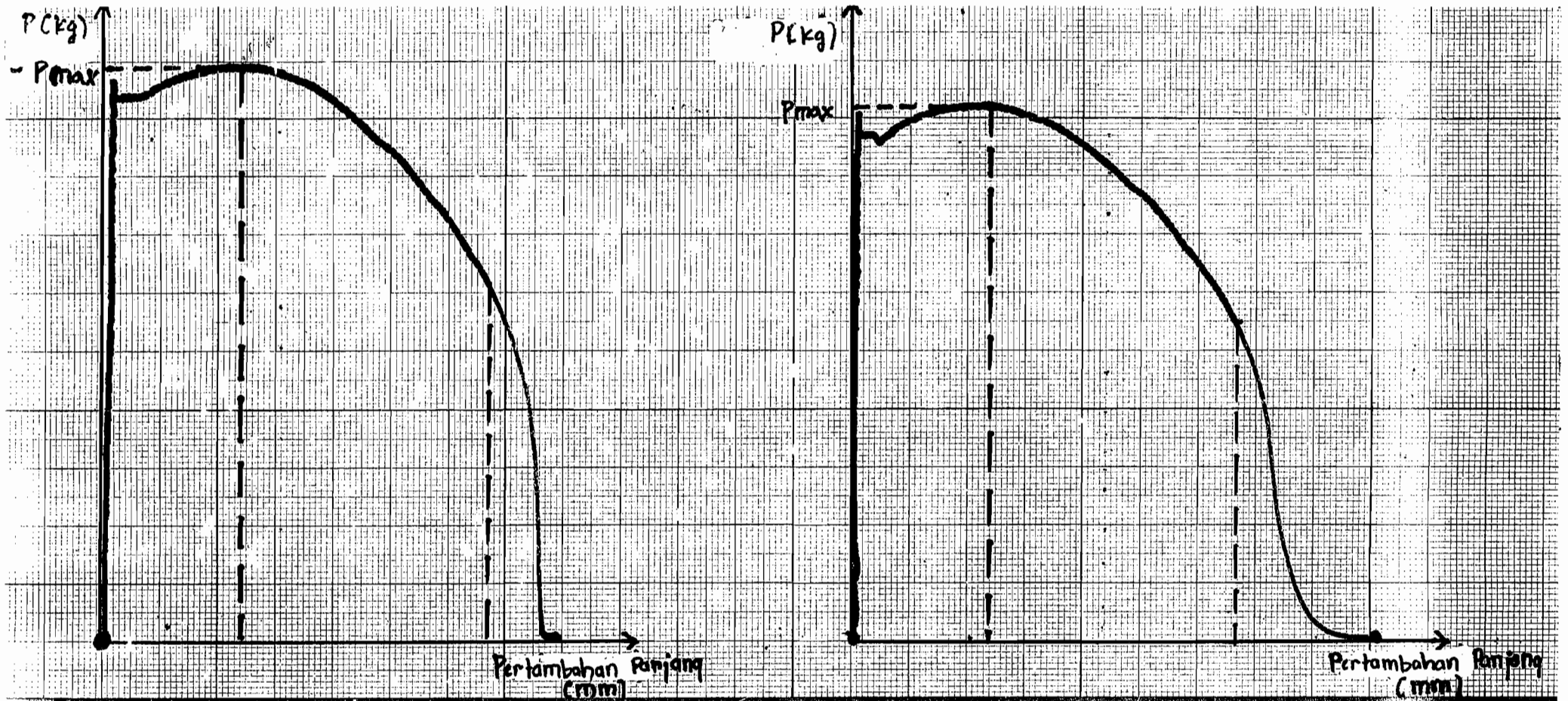
Grafik uji tarik tanpa mengalami pengerolan kemudian ditemper suhu $400^{\circ}C$

Grafik P- ΔL



Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm kemudian ditemper suhu 400°C

Grafik P- Δ L

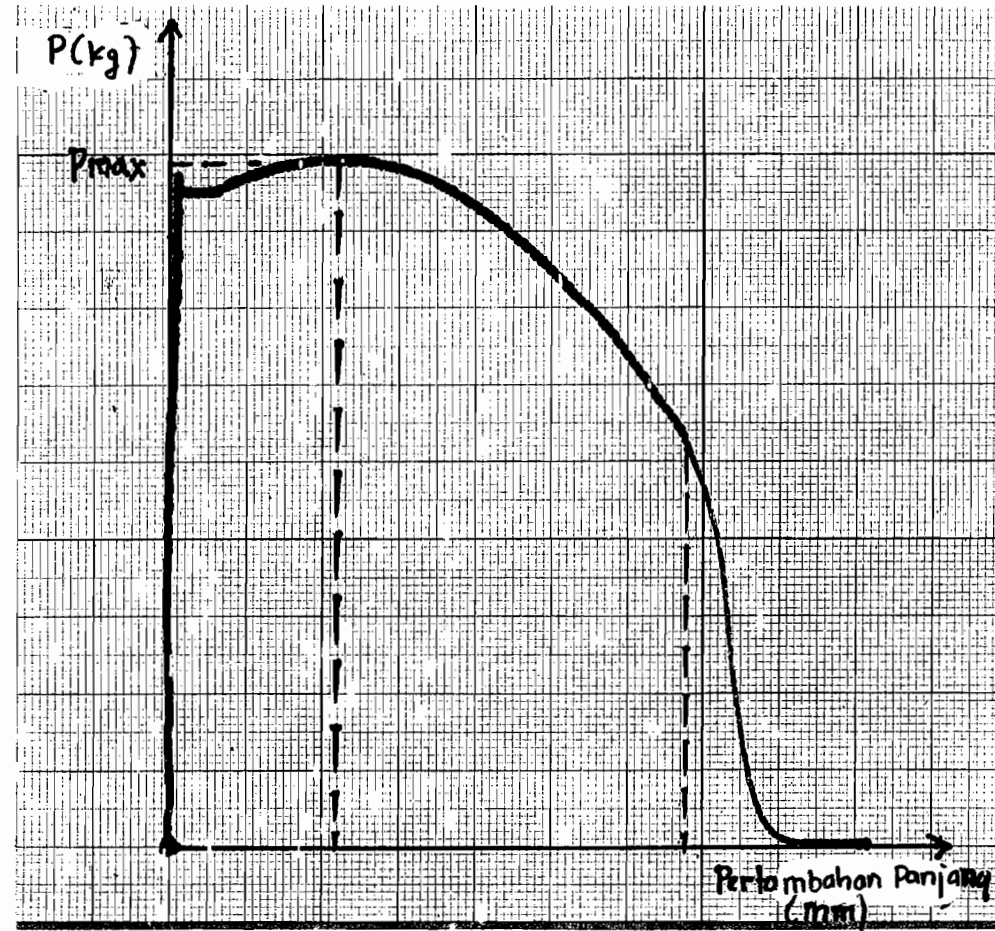


Spesimen 3

Spesimen 4

Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm kemudian ditemper suhu 400°C

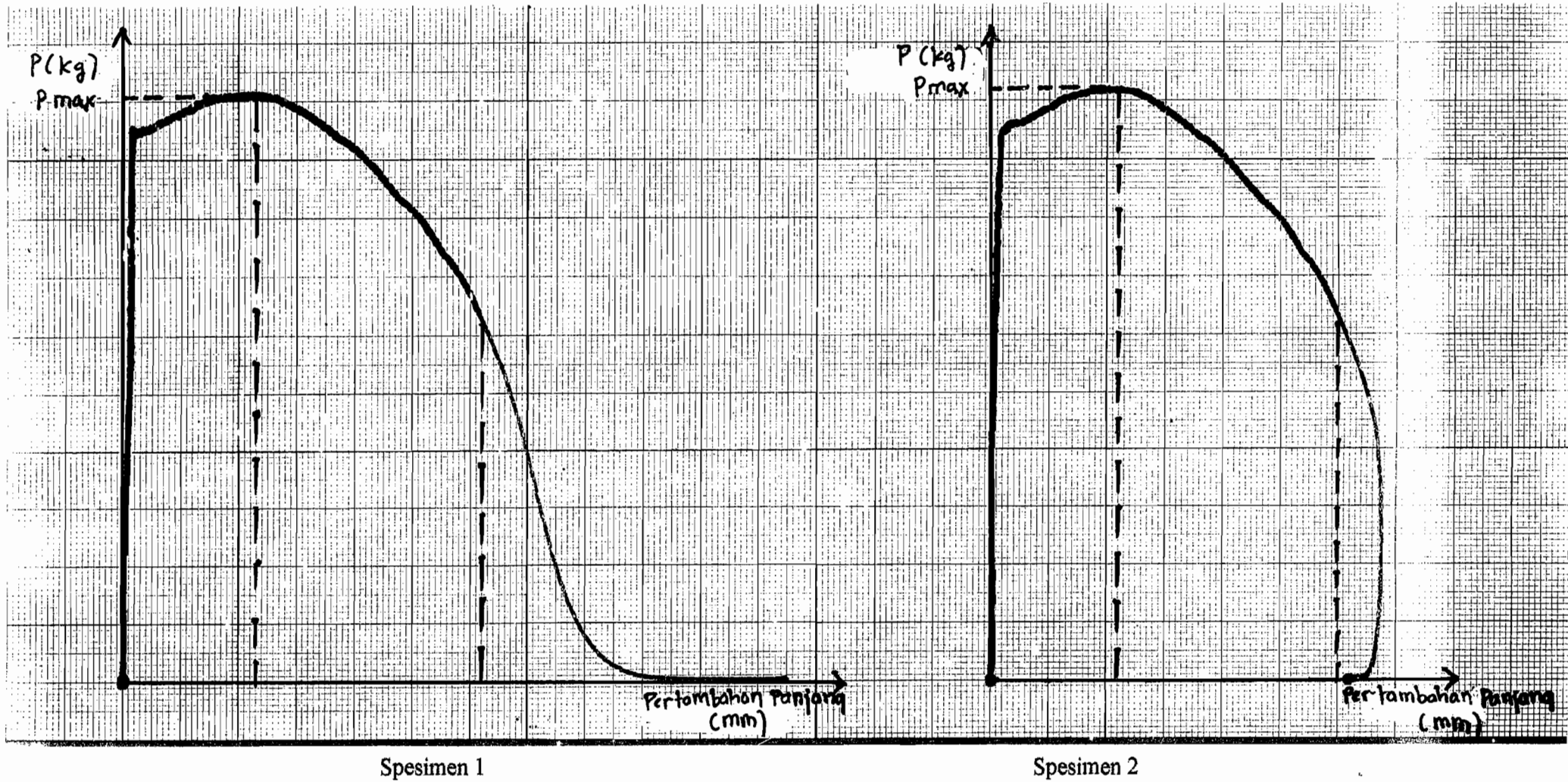
Grafik P- Δ L



Spesimen 5

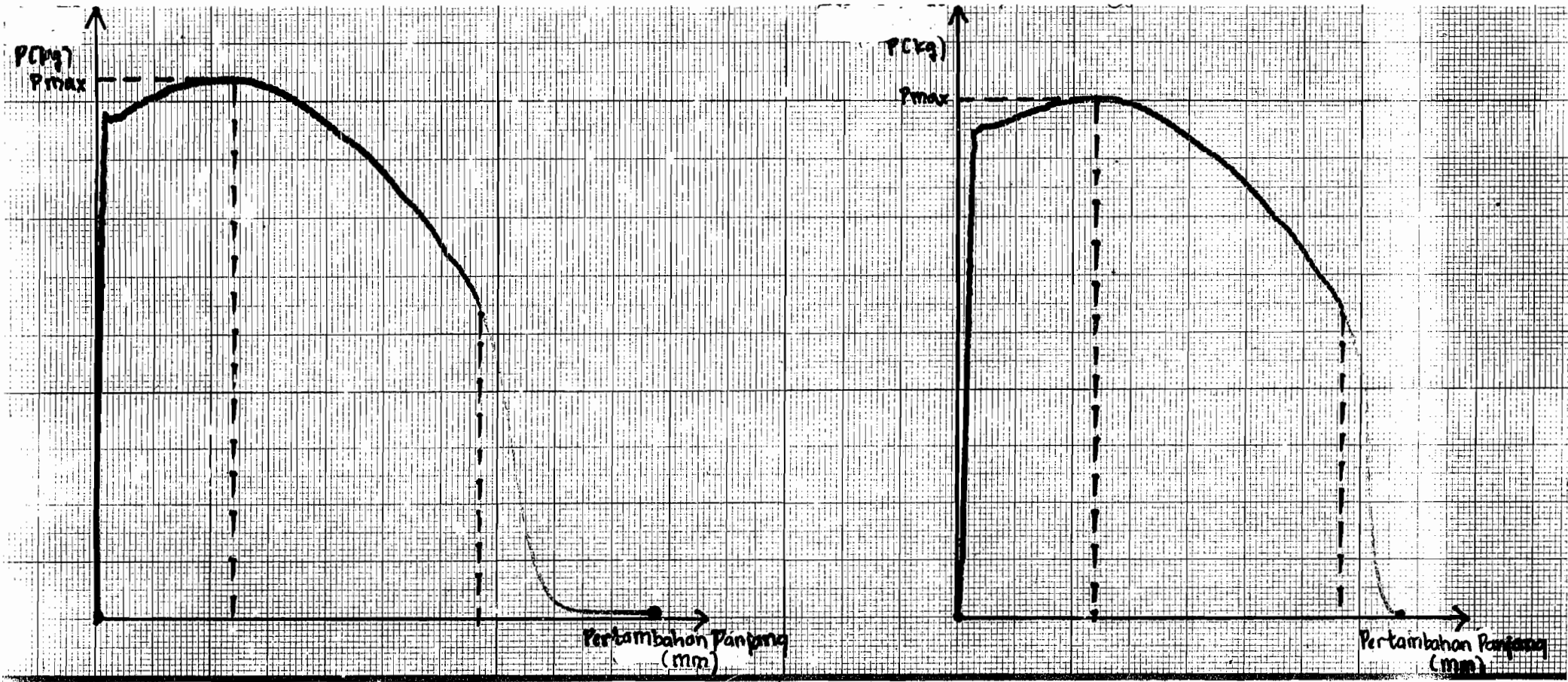
Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 200 mm kemudian ditemper suhu $400^{\circ}C$

Grafik P- ΔL



Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm kemudian ditemper suhu 400°C

Grafik P- ΔL

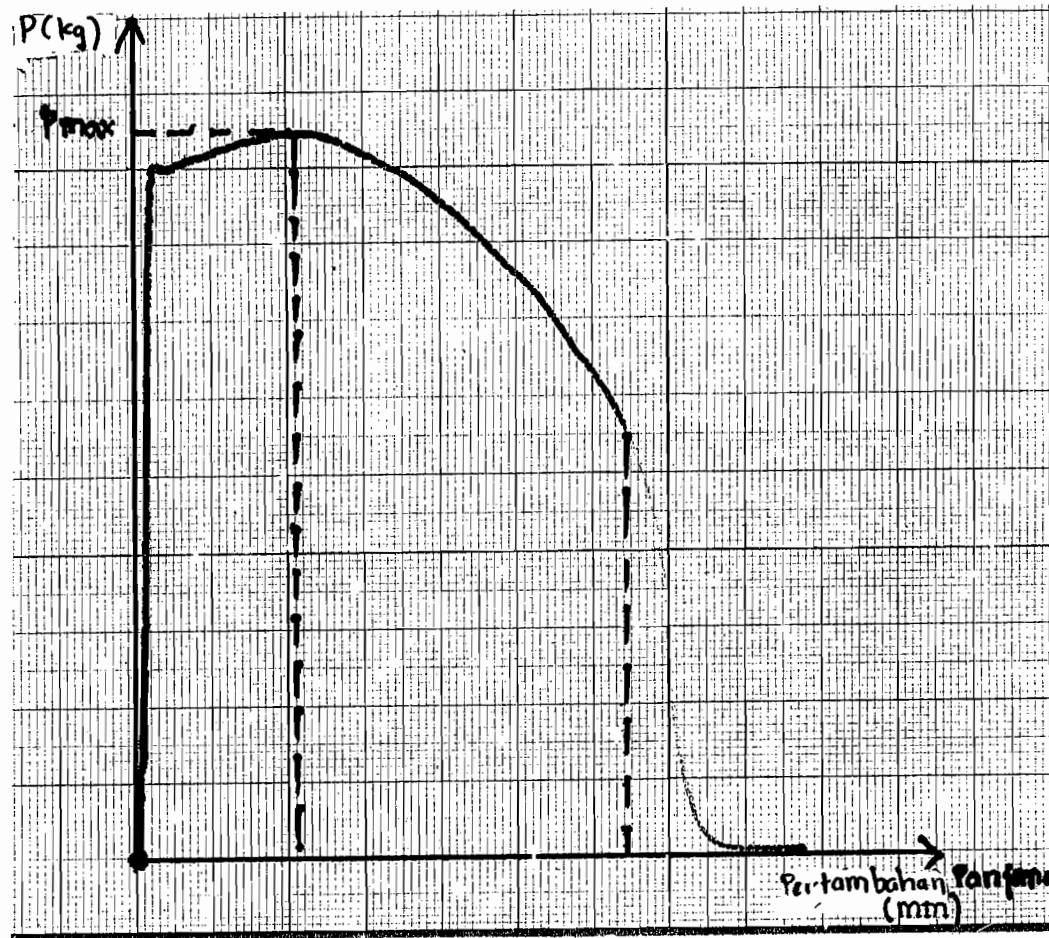


Spesimen 3

Spesimen 4

Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm kemudian ditemper suhu $400^{\circ}C$

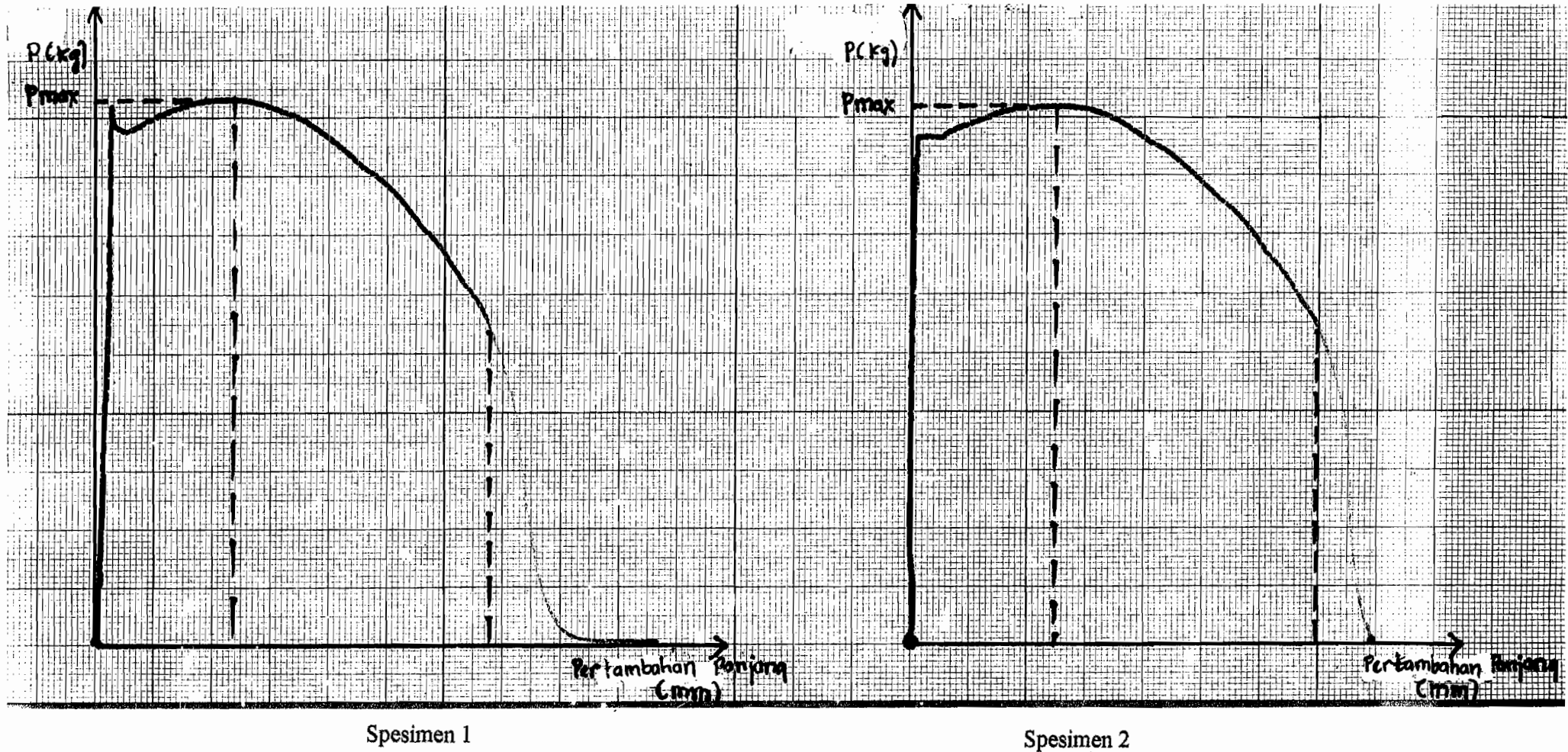
Grafik P- ΔL



Spesimen 5

Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 300 mm kemudian ditemper suhu $400^{\circ}C$

Grafik P- ΔL

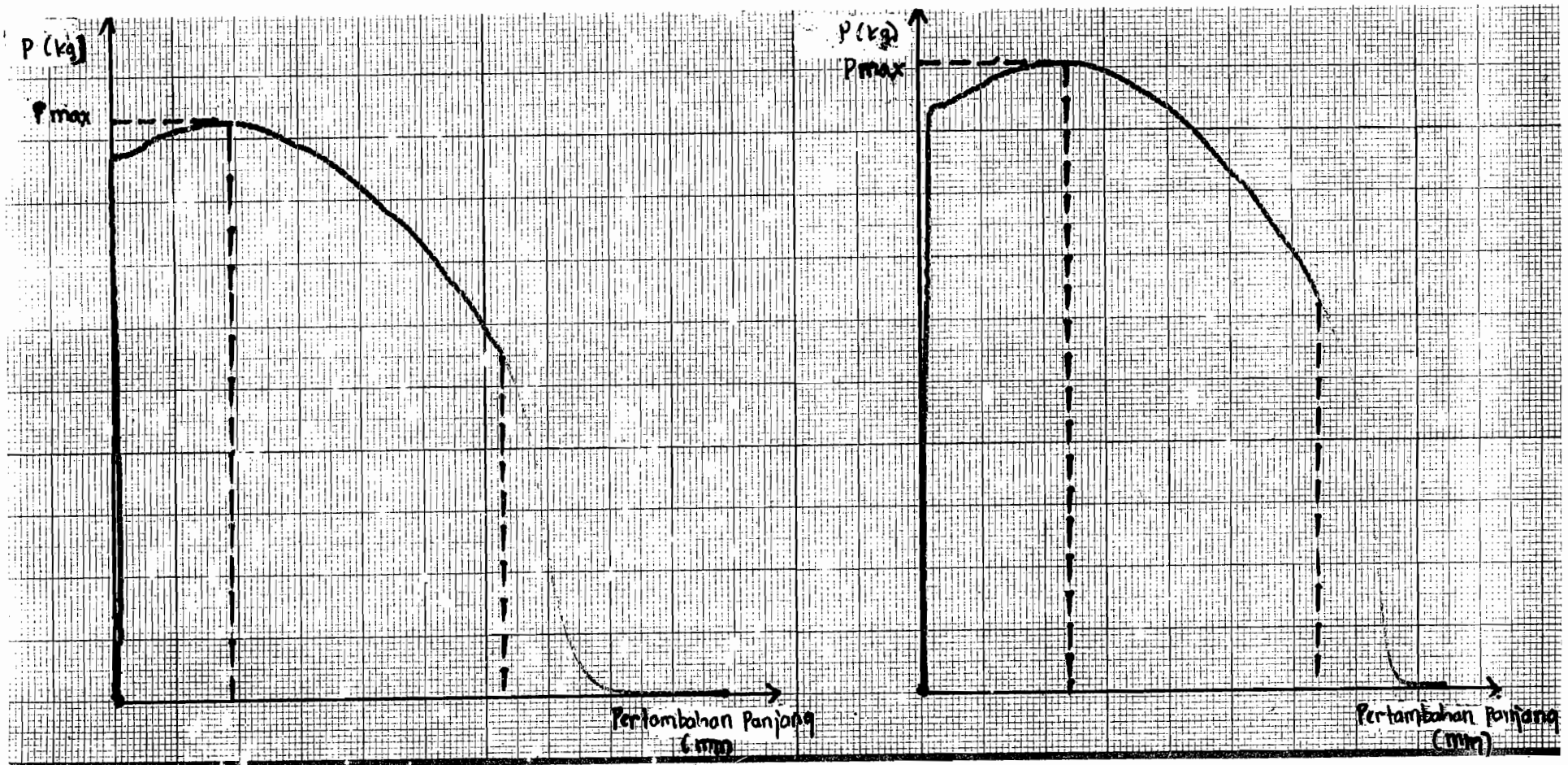


Spesimen 1

Spesimen 2

Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm kemudian ditemper suhu 400°C

Grafik P- Δ L

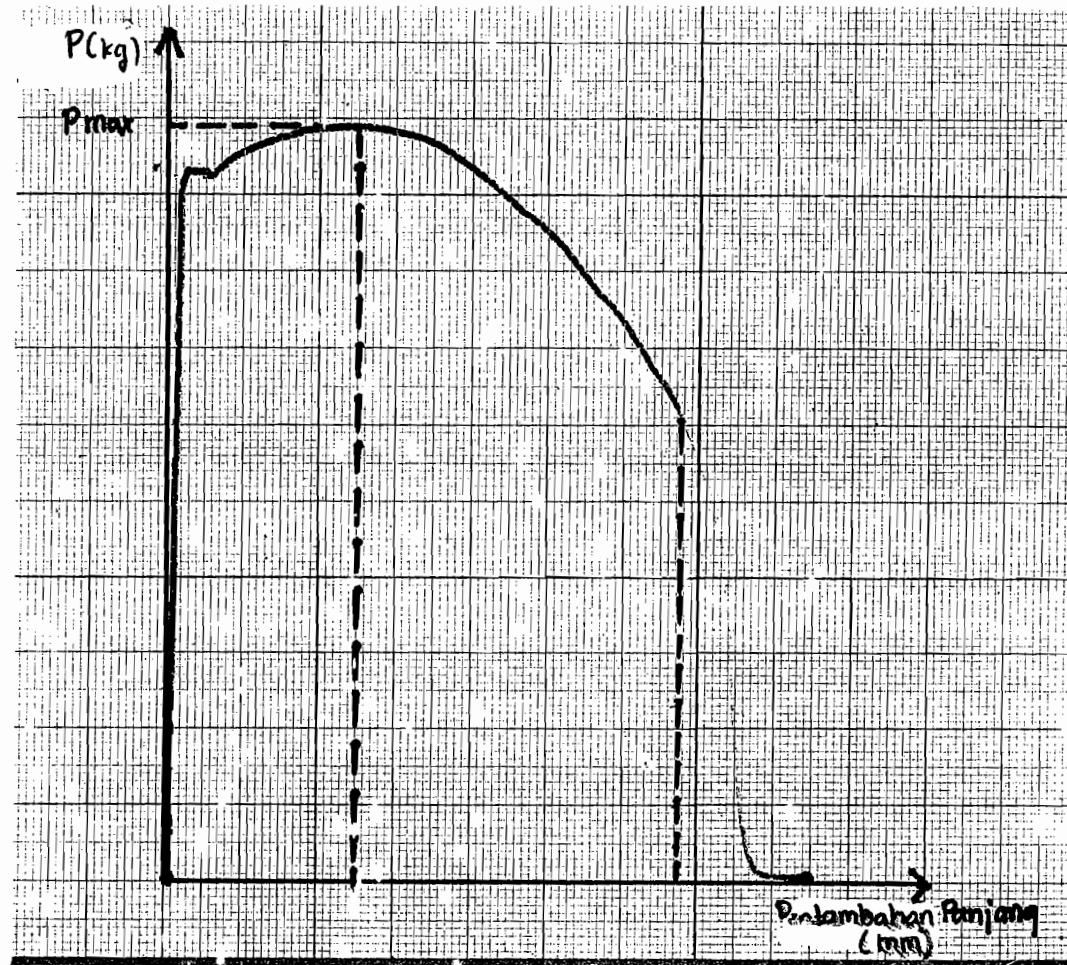


Spesimen 3

Spesimen 4

Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm kemudian ditemper suhu 400°C

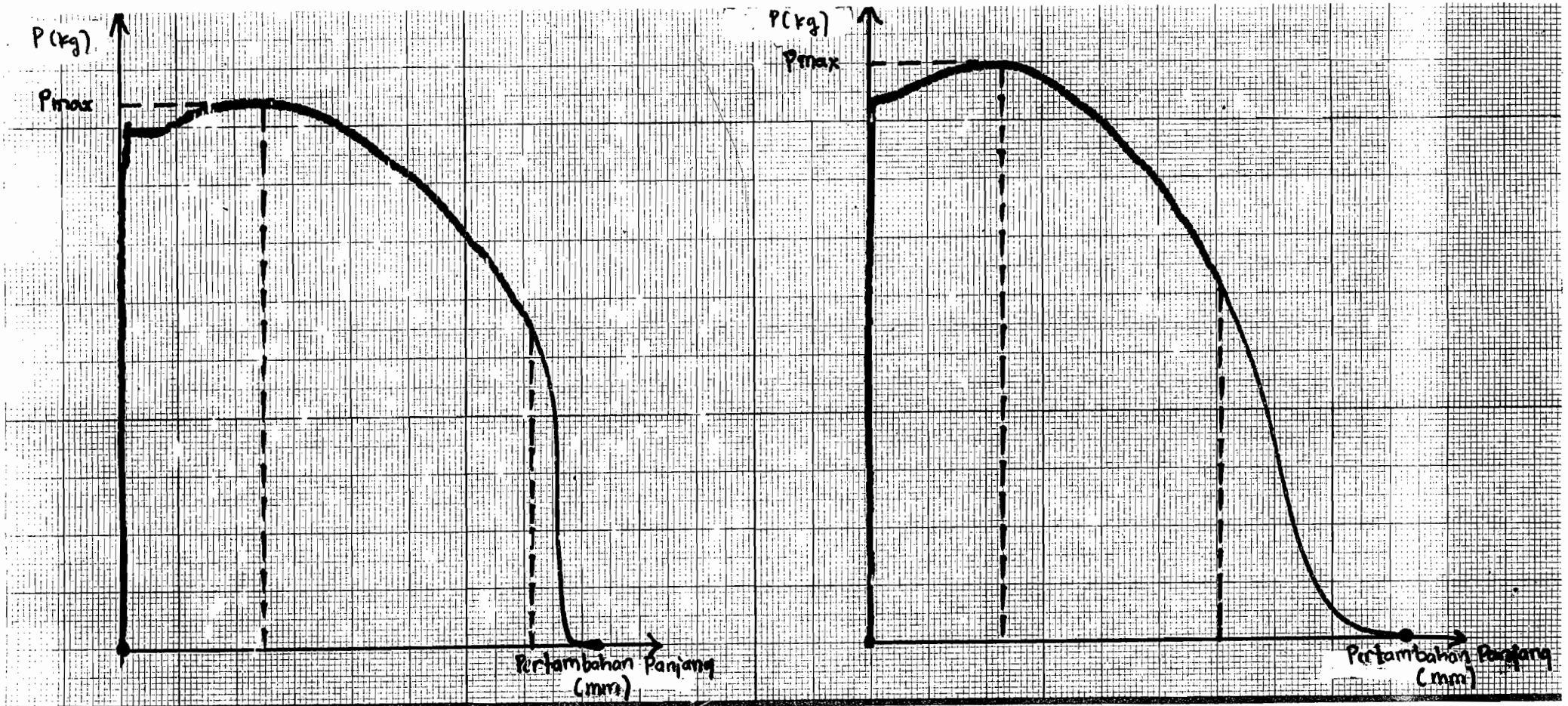
Grafik P- Δ L



Spesimen 5

Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 400 mm kemudian ditemper suhu $400^{\circ}C$

Grafik P- Δ L

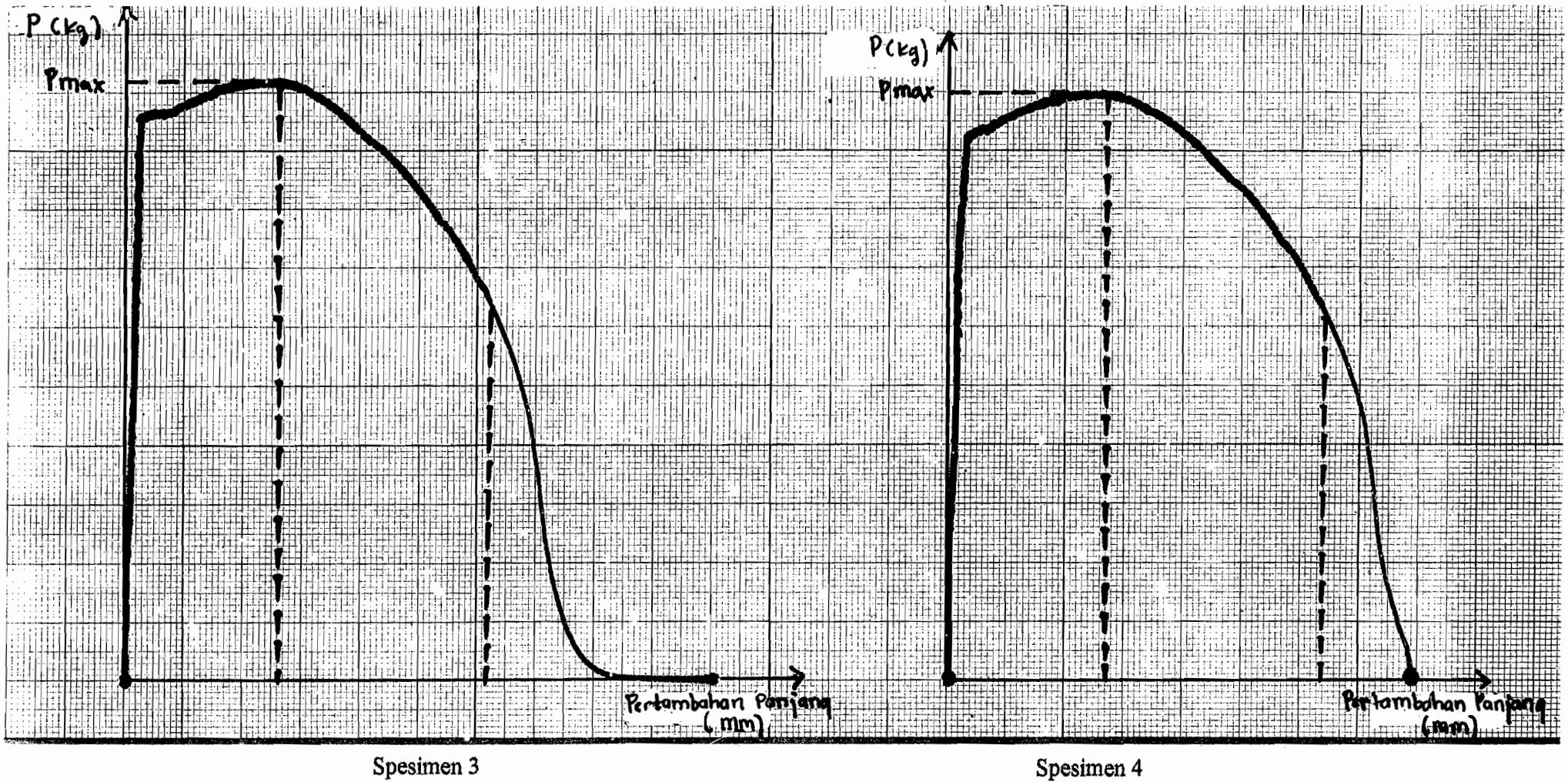


Spesimen 1

Spesimen 2

Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm kemudian ditemper suhu 400°C

Grafik P- ΔL

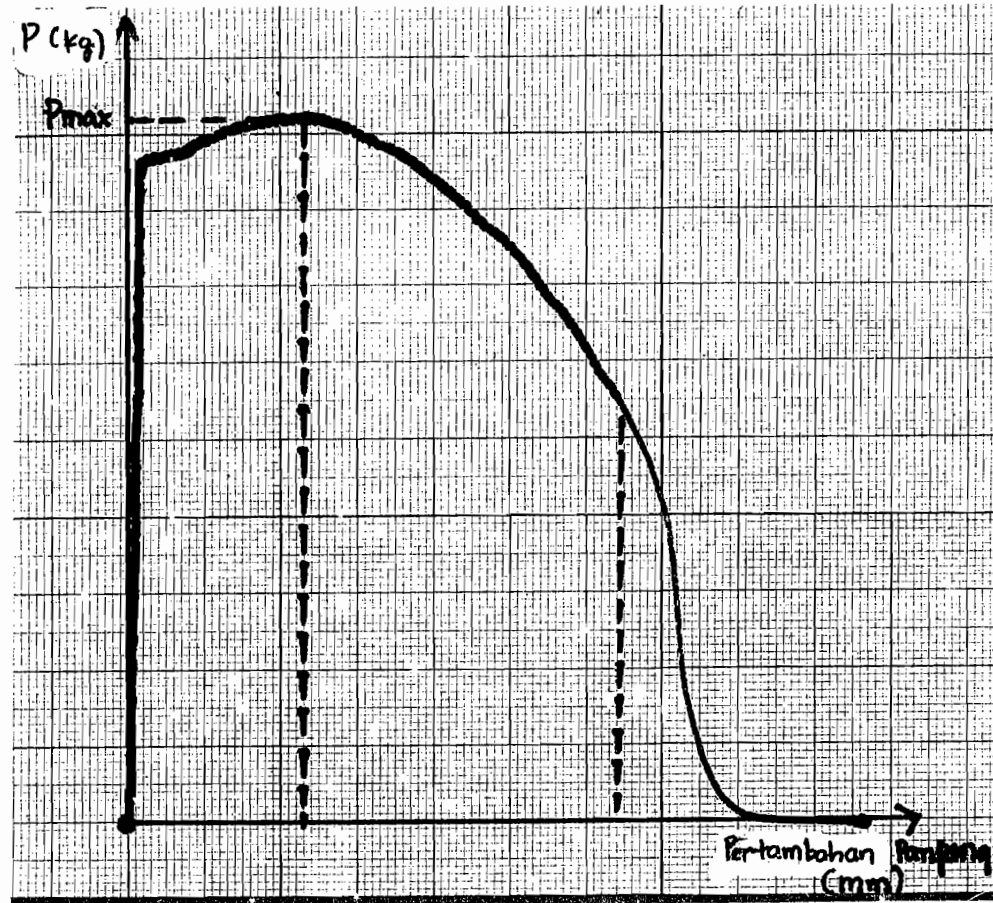


Spesimen 3

Spesimen 4

Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm kemudian ditemper suhu 400°C

Grafik P- Δ L



Spesimen 5

Grafik uji tarik yang mengalami pengerolan dengan diameter pengerolan 500 mm kemudian ditemper suhu 400°C

