

# PENGARUH SUHU TEMPERING TERHADAP KEKERASAN STRUKTUR MIKRO DAN KEKUATAN TARIK PADA BAJA K-460

Gunawan Dwi Haryadi<sup>1)</sup>

## Abstrak

Pengaruh perlakuan panas tempering adalah untuk meningkatkan keuletan dan mengurangi kerapuhan dari bahan bakar yang digunakan dalam pengujian ini adalah K-460 yang mempunyai sifat kekerasan dan ketahanan terhadap proses penekanan dari bahan "Tool Steel". Proses tempering dilakukan dengan variasi suhu 100°C, 200°C, 300°C dan 400°C dan dilakukan pengujian kekerasan Rockwell, Uji Tarik dan Mikrografi. Hasil pengujian kekerasan tertinggi dihasilkan pada proses tempering dengan temperatur 400°C dengan nilai kekerasan 54 HRC. Kekuatan tarik maksimum sebesar 2014,8 Mpa dicapai pada suhu tempering 100°C.

## 1. LATARBELAKANG

Seiring dengan perkembangan dunia industri yang semakin maju, mendorong para pelaku dunia industri untuk meningkatkan kebutuhan penggunaan dari hasil pengerasan baja yang dibutuhkan konsumen. Perkembangan teknologi terutama dalam pengerasan logam mengalami kemajuan yang sangat pesat. Untuk memenuhi tuntutan konsumen dalam teknik pengerasan logam ini peneliti mencoba mengangkat permasalahan pengerasan logam pada baja K-460. Alasan yang mendasari peneliti mengambil baja K-460 karena baja tersebut banyak dipergunakan dalam bidang teknik atau industri. Baja ini memiliki kekerasan yang tinggi sehingga cocok untuk komponen yang membutuhkan kekerasan, keuletan, maupun ketahanan terhadap gesekan. Untuk menghasilkan suatu produk yang menuntut keuletan dan tahan terhadap gesekan perlu dilakukan proses pemanasan ulang atau temper.

Tujuan dari penemperan adalah untuk meningkatkan keuletan dan mengurangi kerapuhan. Pengaruh dari suhu temper ini akan menurunkan tingkat kekerasan dari logam.

Kekerasan merupakan sifat ketahanan dari bahan terhadap penekanan. Kekerasan dalam penelitian ini adalah ketahanan dari baja K-460 terhadap penekanan dari hasil pengujian Rockwell. Penelitian disini membahas cara pemanasan logam dengan cara tempering.

## 2. TUJUAN PENELITIAN

Baja biasanya dipanaskan kembali pada suhu kritis terendah setelah dilakukan pengerasan untuk memperbaiki kekuatan dan kekenyalannya. Akan tetapi hal itu mengurangi daya regang dan kekerasannya, sehingga membuat baja lebih sesuai untuk kebutuhan pembuatan peralatan. Proses pemanasan kembali disebut penyepeuhan (tempering).

Suhu penyepeuhan tergantung pada sifat-sifat baja yang diperlukan biasanya sekitar 180°C – 650°C, dan lamanya pemanasan tergantung pada tebalnya bahan. (Ref. 2 hal. 80 – 81).

Pengaruh suhu penyepeuhan terhadap sifat-sifat baja adalah apabila suhu temper semakin tinggi maka baja akan mempunyai sifat kekerasan dan kekuatan tarik semakin menurun sedangkan keuletan dan kekenyalan akan meningkat.

Jadi tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan Penelitian ini adalah Untuk membuktikan pengaruh suhu penemperan yang berbeda-beda terhadap tingkat kekerasan, dan kekuatan tarik logam.

## 3. DASAR TEORI

Baja merupakan paduan yang terdiri dari unsur besi (Fe), karbon (C), dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pencanaian, atau penemperan. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam teknik, dalam bentuk pelat, pipa, batang, profil dan sebagainya. Secara garis besar baja dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon ini terbagi menjadi tiga macam yaitu : baja karbon rendah (< 0,30% C), baja karbon sedang (0,30% < C < 0,70%), baja karbon tinggi (0,70% < C < 1,40%). Sedangkan baja paduan terdiri dari baja paduan rendah dan baja paduan tinggi. (Ref. 5 hal. 51).

Penggunaan dari masing-masing baja berbeda-beda berdasarkan kandungan karbon pada baja tersebut. Baja karbon rendah digunakan untuk kawat, baja profil, sekrup, ulir dan baut. Baja karbon sedang digunakan untuk rel kereta api, poros roda gigi, dan suku cadang yang berkekuatan tinggi, atau dengan kekerasan sedang sampai tinggi. Baja karbon tinggi digunakan untuk perkakas potong seperti pisau, milling cutter, reamers, tap dan bagian-bagian yang harus tahan gesekan (Ref. 5 hal. 51).

Baja K-460 merupakan baja produk BOHLER, baja ini mengandung karbon (C) = 0,95%, Mangan (Mn) = 1%, Chrom (Cr) = 0,5%, Vanadium (V) = 0,1%, dan Wolfram (W) = 0,5%. Baja K-460 termasuk jenis baja karbon tinggi yaitu antara (0,70 < 0,95 < 1,40). Baja ini digunakan untuk alat-alat perkakas potong karena kekerasannya.

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

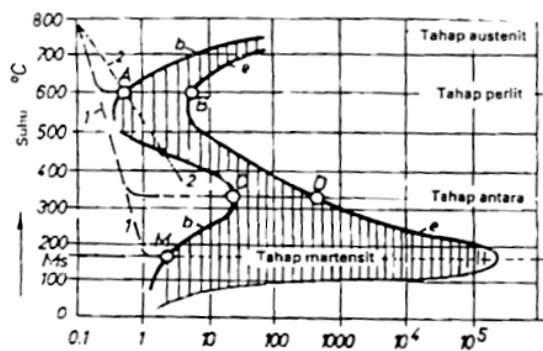
### a. Hardening

Pengertian pengerasan ialah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami baja. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan dan pendinginan secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis (Ref. 8 hal. 85).

Faktor penting yang dapat mempengaruhi proses hardening terhadap kekerasan baja yaitu oksidasi oksigen udara. Selain berpengaruh terhadap besi, oksigen udara berpengaruh terhadap karbon yang terikat sebagai sementit atau yang larut dalam austenit. Oleh karena itu pada benda kerja dapat berbentuk lapisan oksidasi selama proses hardening. Pencegahan kontak dengan udara selama pemanasan atau hardening dapat dilakukan dengan jalan menambah temperatur yang tinggi karena bahan yang terdapat dalam baja akan bertambah kuat terhadap oksigen. Jadi, semakin tinggi temperatur, semakin mudah untuk melindungi besi terhadap oksidasi. (Ref. 8 hal. 82).

Bila bentuk benda tidak teratur, benda harus dipanaskan perlahan-lahan agar tidak mengalami distorsi atau retak. Makin besar potongan benda, makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil pemanasan yang merata. Pada perlakuan panas ini, panas merambat dari luar kedalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga dapat diperoleh struktur yang merata.

Benda dengan ukuran yang lebih besar pada umumnya menghasilkan permukaan yang kurang keras meskipun kondisi perlakuan panas tetap sama. Hal ini disebabkan oleh terbatasnya panas yang merambat di permukaan. Oleh karena itu kekerasan dibagian dalam akan lebih rendah daripada bagian luar. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau permukaan yang keras disekelilingi inti yang ulet.



Gambar 1. Diagram WST atau TTT dengan 0,9% C  
1. pendinginan cepat menjadikan martensit.  
2. Pendinginan lambat menjadikan struktur tahap antara.

Diagram WST atau TTT menggambarkan hubungan waktu (time), suhu (temperatur), dan perubahan struktur (transformation). Diagram ini

memiliki skala tegak lurus dan skala waktu mendarat. Lintasan mendarat dari sumbu tegak hingga garis S pertama (kiri) menunjukkan waktu yang berlangsung hingga tercapainya awal pembentukan austenit, sedang garis S ke dalam (kanan) menyatakan saat berakhirnya perubahan bentuk. Jarak mendarat antara kedua garis liku menyatakan jangka waktu proses perubahan bentuk.

Contoh pembacaan diagram TTT, jika baja yang digambarkan diagram ini didinginkan secara cepat dari suhu pengerasan sekitar 780°C menuju 600°C misalnya dalam air garam, maka setelah satu detik terjadi perubahan bentuk menjadi perlit di titik A pada garis lengkung kiri yang berakhir setelah kira-kira 10 detik di titik B.

Jika dilakukan pengejukan menuju 320°C, maka setelah sekitar satu menit mulai pembentukan suatu struktur tahap antara titik C yang berakhir pada titik D., setelah sekitar sembilan menit. Jika dilakukan pengejukan menuju yang lebih rendah pada kecepatan yang sama, maka pada sekitar 180°C mulai berlangsung perubahan bentuk menjadi martensit.

Jika perubahan bentuk berlangsung perlahan-lahan baja akan mencapai suhu pengejukan pada garis pendinginan 2 yang kecuramannya berkurang, dapat memotong garis S pertama di dua titik. Dalam hal ini berlangsung perubahan bentuk perlit. (Ref. 8 hal. 45).

### b. Tempering

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan kurang cocok digunakan. Melalui temper, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi syarat penggunaan. Proses temper terdiri dari pemanasan kembali baja yang telah dipanaskan atau dikeraskan pada suhu di bawah suhu kritis disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lunak, proses ini berbeda dengan proses anil karena disini sifat-sifat dapat dikendalikan dengan cermat. Temper dimungkinkan oleh karena sifat struktur martensit yang tidak stabil. (Ref. 5 hal 149).

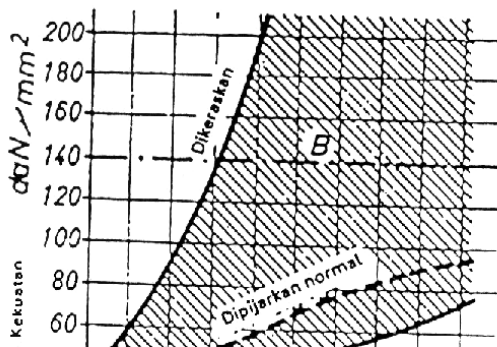
Struktur logam yang tidak stabil tidak berguna untuk tujuan penggunaan, karena dapat mengakibatkan pecah. Dengan penemperan, tegangan dan kegetasan diperlunak dan kekerasan sesuai dengan penggunaan. Ketinggian suhu penemperan dan waktu penghentian benda kerja tergantung pada jenis baja dan kekerasan yang dikehendaki. Sebagai pedoman berlaku, bahwa benda kerja distemper sejauh tercapainya keuletan setinggi-tingginya pada kekerasan yang memadai.

Penemperan harus dilakukan segera setelah pengejukan karena tegangan kekerasan pada umumnya baru timbul beberapa saat setelah pengejukan. Jika penemperan tidak dapat langsung mengikuti pengejukan maka bahaya pembentukan retak dapat dikurangi dengan jalan memasukan benda kerja ke dalam air yang mendidih untuk beberapa jam lamanya. (Ref. 8 hal. 52).

Temper pada suhu rendah antara 150°C - 230°C tidak akan menghasilkan penurunan yang berarti,

karena pemanasan akan menghilangkan tegangan dalam terlebih dahulu. Penemperan pada suhu hingga 200°C ini disebut penuaan buatan. Baja yang memperoleh perlakuan seperti ini memiliki ukuran yang tetap untuk waktu lama pada suhu ruangan. Penempran antara suhu 200°C - 380°C untuk memperlunak kekerasan yang berlebihan dan meningkatkan keuletan, sedangkan perubahan ukuran yang terjadi pada pengejutan diperkecil. Penemperan pada suhu antara 550°C - 650°C untuk meningkatkan kekerasn dengan menguraikan karbid. Penemperannya hanya pada baja perkakas paduan tinggi. Penemperan baja bukan paduan berlangsung pada suhu penemperan yang berpedoman pada karbon dan kekerasan yang dikehendaki. (Ref. 8 hal. 87).

Proses temper pada pemanasan sampai suhu temperatur tertentu (temperatur kritis) dan didinginkan dengan lambat. Pemanasan dilakukan sampai temperatur yang diperlukan, biasanya antara 200°C - 600°C tergantung pada keperluan. Makin tinggi temperatur pemanasan, makin besar penurunan kekerasan sedangkan kekenyalannya bertambah. (Ref. 1 hal. 111).



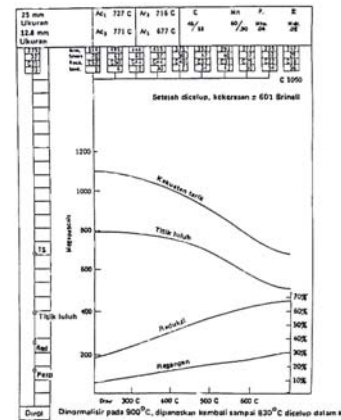
Gambar 2. Pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan baja bukan paduan. Daerah penemperan diarsir, B = batas yang diijinkan.

Pengaruh perlakuan panas meningkatkan kekuatan dengan naiknya kandungan zat arang. Lama dan tingginya suhu penemperan untuk mengubah sifat pengerasan temper secara kuat atau lemah tergantung pada jenis baja, kekerasan dan kekuatan menurun dengan bertambahnya suhu penemperan, sedangkan kekenyalan dan keuletan meningkat. (Ref. 8 hal. 60).

Proses temper terdiri dari penggumpalan atau pertumbuhan sementit terjadi pada suhu 315°C diikuti dengan penurunan kekerasan. Peningkatan suhu akan mempercepat penggumpalan karbida, sementara kekerasan turun terus. Pada gambar dibawah ini terlihat sifat baja AISI 1050 yang dapat dicapai dengan melakukan proses temper, terlihat kekuatan tarik, titik luluh, penyusutan penampang atau perpanjangan.

Unsur paduan mempunyai pengaruh yang berarti pada proses temper, pengaruhnya menghambat laju pelunakan, sehingga baja paduan akan memerlukan suhu temper yang lebih tinggi untuk mencapai kekerasan tertentu. Pada proses temper perlu

diperhatikan suhu maupun waktu. Meskipun pelunakan terjadi pada saat-saat pertama setelah suhu temper dicapai, selama pemanasan yang cukup lama terjadi penurunan kekerasan. (Ref. 5 hal. 148).



Gambar 3. Baja AISI 1050 yang dicapai dengan melakukan proses temper.

Setelah suhu dinaikkan sampai suhu penyepuhan (tempering heat), baja dibiarkan dingin secara perlahan-lahan. Suhu yang pasti untuk tempering tergantung pada kegunaan baja tersebut. Tingkat kekerasan yang dicapai setelah pendinginan tergantung pada kandungan karbon dalam baja, baja yang mengandung kurang dari 0,3% karbon tidak memperlihatkan perubahan yang nyata. Kekerasan maksimum dicapai bila baja mengandung 1,3% karbon. (Ref. 7 hal. 22).

Semakin tinggi suhu penemperan dan semakin lama didiamkan pada suhu ini (lama penemperan), semakin banyak terbentuk martensit, kekerasan akan menjadi lebih rendah, keuletan bertambah dan tegangan berkurang. Pada waktu penemperan warnanya masing-masing berubah menurut suhu (kuning terang hingga kelabu). (Ref. 8 hal. 52).

### c. Uji Kekerasan

Kekerasan suatu bahan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi material lain pada permukaannya. Terdapat tiga jenis mengenai ukuran kekerasan, yang tergantung pada cara melakukan pengujiannya. Ketiga jenis tersebut adalah :

1. Kekerasan goresan (*Scratch hardness*)
2. Kekerasan lekukan (*Indentation hardness*)
3. Kekerasan pantulan (*rebound hardness*) atau kekerasan dinamik (*dynamic hardness*)

Untuk logam kekerasan lekukan yang sering dipergunakan. Berikut ini adalah jenis pengujian kekerasan lekukan :

### d. Uji Kekerasan Rockwell

Pada pengujian kekerasan menurut Rockwell diukur kedalaman pembenaman (t) penekan. Sebagai penekan pada baja yang dikeraskan digunakan sebuah

kerucut intan. Untuk menyeimbangkan ketidakrataan yang diakibatkan oleh permukaan yang tidak bersih, maka kerucut intan ditekankan keatas bidang uji, pertama dengan beban pendahuluan 10 kg. setelah ini, beban ditingkatkan menjadi 150 kg sehingga tercapai kedalaman pembenaman terbesar. Sebagai ukuran digunakan kedalaman pembenaman menetap  $t$  dalam mm yang ditinggalkan beban tambahan. Sebagai satuan untuk ukuran  $t$  berlaku  $e = t$  dalam 0,002 mm.

Kekerasan Rockwell

$$HRC = 100 - \frac{t}{0,002}$$

Contoh

$$t = 0,07$$

$$\begin{aligned} HRC &= 100 - \frac{0,07}{0,002} \\ &= 100 - 35 \\ &= 65 \text{ HRC.} \end{aligned}$$

Pengujian Rockwell HRC sebagai cara yang paling cocok untuk pengujian bahan yang keras. (Ref. 4 hal. 198).

Makin keras bahan yang diuji, makin dangkal masuknya penekan dan sebaliknya makin lunak bahan yang diuji, makin dalam masuknya. Cara Rockwell sangat disukai karena dengan cepat dapat diketahui kekerasannya tanpa menghitung dan mengukur. Nilai kekerasan dapat dibaca setelah beban utama dilepaskan, dimana beban awal masih menekan bahan.

#### e. Uji Kekerasan Brinell

Uji kekerasan brinell merupakan suatu penekanan bola baja (identor pada permukaan benda uji. Bola baja berdiameter 10 mm, sedangkan untuk material uji yang sangat keras identor terbuat dari paduan karbida tungsten, untuk menghindari distorsi pada identor. Beban uji untuk logam yang keras adalah 3000 kg, sedangkan untuk logam yang lebih lunak beban dikurangi sampai 500 kg untuk menghindari jejak yang dalam. Lama penekanan 20 – 30 detik dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop daya rendah, setelah beban tersebut dihilangkan. Permukaan dimana lekukan akan dibuat harus relatif halus, bebas dari debu atau kerak.

Angka kekerasan Brinell (*Brinell hardness number*, BHN) dinyatakan sebagai beban  $P$  dibagi luas permukaan lekukan, persamaan untuk angka kekerasan tersebut adalah sebagai berikut : (Ref 4 hal 329)

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

Dimana :

- $P$  = Beban yang digunakan (kg)
- $D$  = Diameter identor (mm)
- $d$  = Diameter lekukan (mm)

#### f. Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan Vickers menggunakan identor yang berbentuk pyramid intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar dengan sudut  $136^\circ$ . Angka kekerasan Vickers (*Vickers hardness number*, VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi dengan luas permukaan lekukan. VHN ditentukan oleh persamaan berikut : (Ref. 16 hal 334)

$$VHN = \frac{2P \sin(\theta / 2)}{L^2} = \frac{1,854P}{D^2}$$

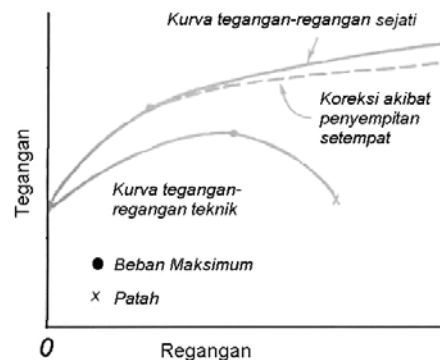
Dimana :

- $P$  = Beban yang digunakan (kg)
- $L$  = Panjang diagonal rata-rata (mm)
- $\theta$  = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan ( $136^\circ$ )

#### g. Uji Tarik

Uji tarik rekayasa sering dipergunakan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan. Pada uji tarik, benda uji tarik diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinyu. (Ref. 4 hal. 277). Diagram yang diperoleh dari uji tarik pada umumnya digambarkan sebagai diagram tegangan-regangan.

Kurva tegangan-regangan memiliki dua macam kurva yaitu kurva tegangan-regangan rekayasa (tegangan teknik atau nominal) dan kurva tegangan-regangan sejati, pada gambar 4, terlihat jelas perbedaan antara kedua kurva tersebut. Kurva tegangan-regangan rekayasa berdasarkan pada dimensi benda uji semula, sedangkan kurva tegangan-regangan sejati berdasarkan pada luas penampang benda uji yang sebenarnya, maka akan diperoleh kurva tegangan-regangan yang naik terus sampai patah. (Ref. 4 hal. 286).



Gambar 4. Perbandingan antara kurva tegangan-regangan rekayasa dengan kurva tegangan-regangan sejati.

Kurva tegangan-regangan rekayasa (gambar 4) diperoleh dari hasil pengukuran benda uji tarik. Tegangan yang diperlukan pada kurva diperoleh

dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang benda uji, persamaannya yaitu : (Ref. 4 hal. 75)

$$s = \frac{P}{A_0}$$

Dimana :

S = Tegangan, psi (lb/in<sup>2</sup>) atau pascal (N/m<sup>2</sup>)

P = Beban, kg atau KN

A<sub>0</sub> = Luas penampang awal, mm<sup>2</sup>

Regangan yang dipergunakan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan ukur benda uji dengan panjang awal, persamaannya yaitu : (Ref. 3 hal. 76)

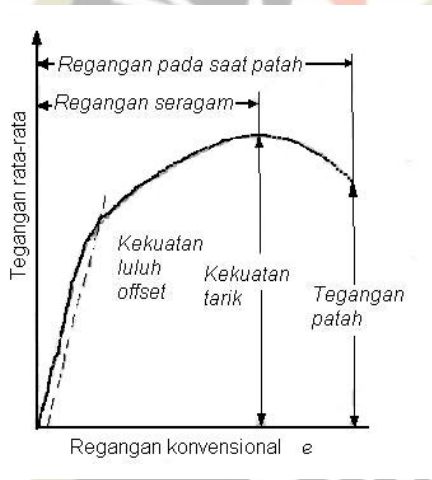
$$e_n = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Dimana :

e<sub>n</sub> = Regangan, %perpanjangan

L = Panjang ukur benda uji setelah patah, mm

L<sub>0</sub> = Panjang awal benda uji, mm



Gambar 5. Kurva tegangan-regangan rekayasa

Bentuk dan besaran pada kurva tegangan-regangan suatu logam tergantung pada komposisi, perlakuan panas, deformasi plastis yang pernah dialami, laju regangan, suhu dan keadaan tegangan yang menentukan selama pengujian. (Ref. 4 hal. 278).

Parameter-parameter yang digunakan untuk menggambarkan kurva tegangan-regangan logam adalah sebagai berikut : (Ref. 4 hal. 280-281).

#### 1. Kekuatan tarik (*Tensile strength*)

Kekuatan tarik maksimum (*Ultimate tensile strength*) adalah beban maksimum dibagi luas penampang awal benda uji, persamaannya adalah : (Ref 4 hal 279)

$$S_u = \frac{P_{maks}}{A_0}$$

Dimana :

S<sub>u</sub> = Tegangan maksimum, pascal atau psi

P<sub>maks</sub> = Beban maksimum, kg atau KN

#### 2. Kekuatan luluh (*Yield strength*)

Kekuatan luluh adalah tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Untuk titik yang tidak jelas, kekuatan luluh offset atau tegangan uji, yang ditentukan oleh tegangan yang berkaitan dengan perpotongan antara kurva tegangan-regangan dengan garis yang sejajar dengan elastis offset kurva oleh regangan tertentu (titik B, pada gambar 5). Besarnya kekuatan luluh offset biasanya ditentukan sebagai regangan 0,2 atau 0,1 persen. Persamaannya adalah : (Ref 4 hal 280)

$$S_0 = \frac{P_{yield}}{A_0}$$

Dimana :

S<sub>0</sub> = Tegangan luluh, pascal atau psi

P<sub>yield</sub> = Beban pada titik luluh (*yield point*), kg atau KN

Pada gambar 5, titik A adalah batas elastis yang didefinisikan sebagai tegangan terbesar yang dapat ditahan oleh logam tanpa mengalami regangan permanen apabila beban diadakan. Penentuan batas elastis tergantung dari kepekaan instrumen pengukur regangan, itulah sebabnya mengapa batas elastis itu sering diganti dengan batas utama (batas proporsional), yaitu titik A'. batas proporsional ialah tegangan dimana garis lengkung tegangan-regangan menyimpang dari kelinierannya.

#### 3. Perpanjangan (*elongation*)

Perpanjangan adalah regangan teknik pada saat patah, e<sub>f</sub>. Persamaannya adalah : (Ref 4 hal 281)

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

Dimana :

e<sub>f</sub> = Regangan pada saat patah, %

L<sub>f</sub> = Panjang ukur benda uji setelah patah, mm

#### 4. Pengurangan luas penampang (kontraksi)

Pengurangan luas penampang adalah besarnya penyusutan penampang benda uji pada patahan, q. Persamaannya adalah (Ref 4 hal 281) :

$$q = \frac{A_0 - A_f}{A_0}$$

Dimana :

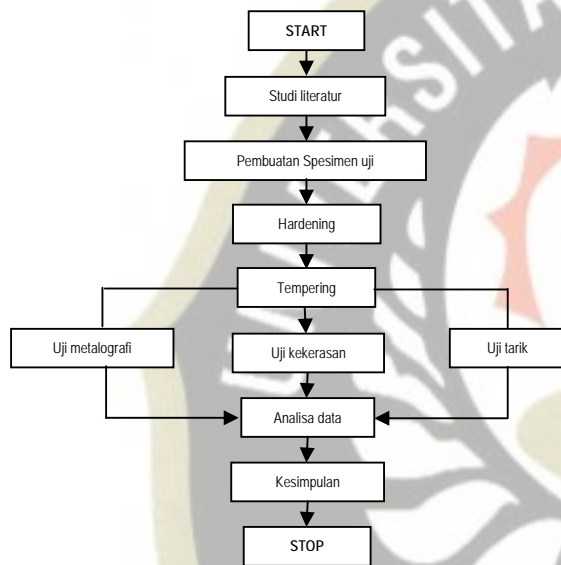
q = Besarnya penyusutan penampang, %

A<sub>f</sub> = Luas benda uji setelah patah, mm<sup>2</sup>

#### 4. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam Tugas Akhir ini penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu : menentukan tujuan dari penelitian, mengumpulkan landasan teori, menentukan prosedur penelitian, melakukan pengujian dan analisa hasil pengujian. Tahapan penelitian tersebut disusun agar penelitian berjalan secara sistematis. Langkah-langkah untuk pengujian spesimen ini adalah seperti diagram alir dibawah ini.

Setelah pengujian dilakukan maka akan didapatkan data-data yang akan dianalisa lebih lanjut. Data hasil pengujian terhadap spesimen uji baja k-460 yang diberikan proses tempering yaitu berupa : data tingkat kekerasan, data struktur mikro, dan data kekuatan tarik.



Gambar 6. Diagram alir pengujian

#### 5. DATA-DATA AWAL UJI KEKERASAN

Dalam pengujian, dipakai data-data awal sebagai berikut :

1. Material uji baja k-460
2. Temperatur pemanasan 100°C, 200 °C, 300 °C, dan 400 °C.
3. Waktu penahanan pemanasan 60 menit.
4. Media pendingin oli.
5. Kekerasan diambil tiga titik tiap-tiap material uji.

#### 6. DATA HASIL PENGUJIAN KEKERASAN

Data hasil pengujian kekerasan yang dilakukan di Laboratorium Metalurgi D3 Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM dengan menggunakan standar Rockwell terhadap spesimen uji adalah seperti pada tabel 1 dibawah ini.

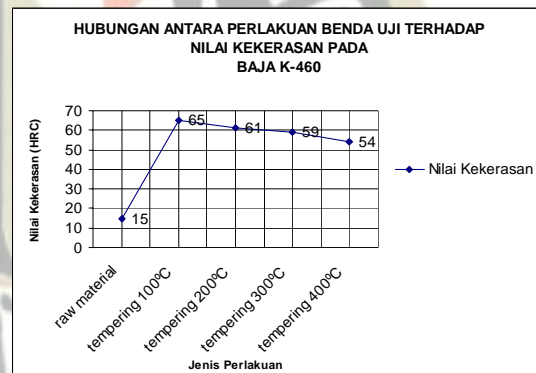
Tabel 1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Baja K-460 Menurut Standar Rockwell.

No.	Keterangan	Harga Kekerasan (HRC)			HRC Rata-rata
		1	2	3	
1	Raw Material	16	15	14	15
2	Tempering 100°C	65	65	65	65
3	Tempering 200°C	61	61	61	61
4	Tempering 300°C	59	59	59	59
5	Tempering 400°C	54	54	54	54

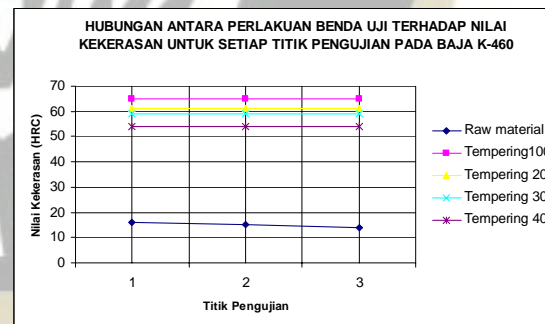
#### 7. PEMBAHASAN UJI KEKERASAN

Data hasil pengujian kekerasan dari tabel 1 menggunakan beban awal 10 kg, kemudian beban ditingkatkan menjadi 140 kg. Tidak ada ketentuan yang mengikat untuk menentukan besarnya pembebanan pada pengujian kekerasan.

Dari data tabel 1 dapat disajikan dalam bentuk grafik menjadi dua jenis grafik kekerasan, yaitu : grafik kekerasan rata-rata, dan grafik distribusi kekerasan berdasarkan letak pengujian.



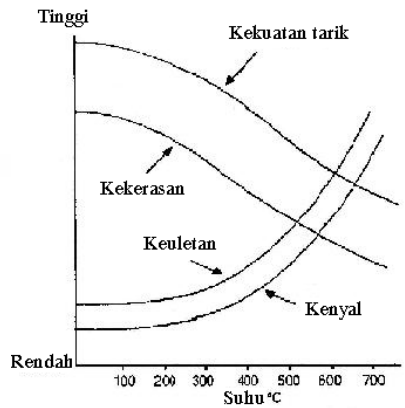
Gambar 7 Grafik hubungan antara perlakuan benda uji terhadap nilai kekerasan pada baja K-460.



Gambar 8 Grafik hubungan antara perlakuan benda uji terhadap nilai kekerasan untuk setiap titik pengujian pada baja K-460.

Dari gambar 8 di atas, memperlihatkan bahwa untuk nilai kekerasan setelah perlakuan heat treatment yang pengujian lakukan yaitu proses tempering akan meningkatkan nilai kekerasan yang tinggi yaitu antara

40 HRC. Hal ini sesuai dengan kegunaan baja K-460 yaitu untuk cutting tool.



Gambar 9 Hubungan antara suhu tempering dengan sifat-sifat baja

Nilai kekerasan untuk setiap perlakuan dari gambar 8 terlihat untuk suhu tempering dari yang terendah (100°C) sampai yang tertinggi (400°C) nilai kekerasannya semakin kecil. Hal tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan : pengaruh suhu penemperan terhadap sifat-sifat baja adalah apabila suhu temper semakin tinggi maka mempunyai sifat kekerasan yang semakin menurun, seperti yang terlihat pada gambar 9.

Dari gambar 4.2 terlihat untuk nilai kekerasan pada titik-titik pengujian untuk setiap perlakuan benda uji. Untuk raw material nilai kekerasannya ada perbedaan nilai kekerasan untuk setiap titik pengujianya. Sedangkan untuk material yang telah dilakukan proses penemperan nilai kekerasan yang dihasilkan dari pengujian memiliki nilai kekerasan yang sama di setiap titik pengujian untuk masing-masing suhu tempernya.

Jadi nilai kekerasan untuk baja yang telah dilakukan proses tempering lebih merata bila dibandingkan dengan material yang tidak dilakukan perlakuan penemperan.

## 8. DATA AWAL UJI TARIK

Dalam pengujian, dipakai data-data awal sebagai berikut :

1. Material uji baja k-460
2. Temperatur pemanasan 100°C, 200 °C, 300 °C, dan 400 °C.
3. Waktu penahanan pemanasan 60 menit.
4. Media pendingin oli.
5. Mesin uji tarik

## 9. DATA HASIL PENGUJIAN UJI TARIK

Hasil- hasil pengujian untuk masing-masing material uji ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Tarik

No.	Keterangan	Raw Material		Tempering 100°C		Tempering 200°C		Tempering 300°C		Tempering 400°C	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Diameter awal (D <sub>0</sub> , mm)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	Diameter akhir (D <sub>i</sub> , mm)	6,9	6,8	10	10	10	10	10	10	10	10
3	Panjang awal (L <sub>0</sub> , mm)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
4	Panjang akhir (L <sub>i</sub> , mm)	73,6	73,5	60	60	60	60	60	60	60	60
5	Beban tarik maks (P <sub>maks</sub> , kN)	58,5	58	159	157,6	129,4	131	112	115	79,5	79,5

## 10. PEMBAHASAN

Dari tabel 2 diatas dapat dilakukan perhitungan untuk mencari kekuatan tarik dari masing-masing material uji. Perhitungan untuk raw material yaitu :

1. Luas penampang awal (A<sub>0</sub>)

$$\begin{aligned}
 A_0 &= \frac{1}{4} \pi D_0^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (10)^2 \\
 &= 78,57 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

2. Luas penampang setelah patah (A<sub>f</sub>)

$$A_f = \frac{1}{4} \pi D_f^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi (6,85)^2$$

$$= 36,87 \text{ mm}^2$$

3. Perhitungan kekuatan tarik maksimum (S<sub>u</sub>)

$$\begin{aligned}
 S_u &= \frac{P_{maks}}{A_0} \\
 &= \frac{58250}{78,57} \\
 &= 741,38 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan regangan (e<sub>f</sub>)

$$e_f = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$= \frac{73,55 - 60}{60} \times 100\%$$

$$= 22,6\%$$

5. Perhitungan kontraksi (q)

$$q = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100\%$$

$$= \frac{78,57 - 36,87}{78,57} \times 100\%$$

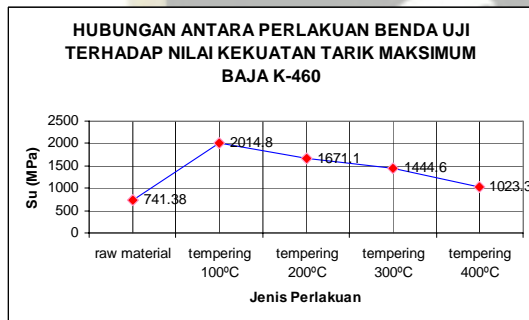
$$= 53\%$$

Perhitungan material uji untuk perlakuan yang lain menggunakan cara yang sama, seperti pada lampiran. Hasil perhitungan ditabelkan pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3 Perhitungan Hasil Pengujian Tarik.

No	Keterangan	Raw Material	Tempering 100°C	Tempering 200°C	Tempering 300°C	Tempering 400°C
1	Luas penampang awal (A <sub>0</sub> , mm <sup>2</sup> )	78,57	78,57	78,57	78,57	78,57
2	Luas penampang akhir (A <sub>f</sub> , mm <sup>2</sup> )	36,87	78,57	78,57	78,57	78,57
3	Kekuatan tarik maksimum (S <sub>u</sub> , MPa)	741,38	2014,8	1671,1	1444,6	1023,3

Dari hasil perhitungan kekuatan tarik maksimum seperti pada tabel 3 diatas maka dapat dibuat grafik hubungan antara perlakuan benda uji terhadap nilai kekuatan tarik maksimum baja K-460 seperti gambar 10.



Gambar 10 Grafik hubungan antara perlakuan benda uji terhadap nilai kekuatan tarik maksimum baja K-460.

Dari gambar 10 diatas, memperlihatkan bahwa untuk nilai kekerasan setelah perlakuan heat treatment yang penguji lakukan yaitu proses tempering akan meningkatkan nilai kekuatan tarik maksimum yang tinggi yaitu antara 1270 Mpa.

Nilai kekuatan tarik maksimum untuk setiap perlakuan dari gambar 10 terlihat untuk suhu tempering dari yang terendah (100°C) sampai yang tertinggi (400°C) nilai kekuatan tarik maksimum semakin kecil.

Hal tersebut sesuai dengan teori yang menyatakan pengaruh suhu penempuran terhadap sifat-sifat baja adalah apabila suhu temper semakin tinggi maka mempunyai sifat kekuatan tarik maksimum yang semakin kecil, seperti yang terlihat pada gambar 9.

11. DATA AWAL UJI METALOGRAFI

Dalam pengujian, dipakai data-data awal sebagai berikut :

1. Material uji baja k-460
2. Temperatur pemanasan 100°C, 200 °C, 300 °C, dan 400 °C.
3. Waktu penahanan pemanasan 60 menit.
4. Media pendingin oli.
5. Abrasive paper menggunakan nomor 100, 400, 800, 1000 dan 1500
6. Etchant yang digunakan nital
7. Pembesaran 500x

12. DATA HASIL PENGUJIAN MIKROGRAFI

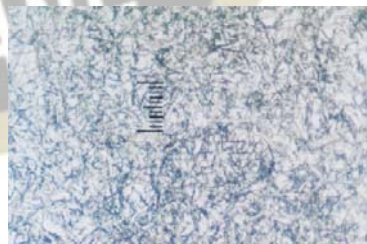
Setelah proses pengamplasan, polishing dan pengetsaan dengan menggunakan HNO<sub>3</sub> pada spesimen uji baja K-460, struktur mikro diamati menggunakan mikroskop dengan pembesaran 500x. Dari pembesaran 500x, terdapat garis yang berjumlah 10 yang terdapat pada foto merupakan jarak 20 µm. Berikut ini adalah foto struktur mikro hasil pemotretan spesimen uji untuk setiap jenis perlakuan.

1. Raw material



Gambar 11 Struktur mikro spesimen uji raw material dengan pembesaran 500x. Etza Nital

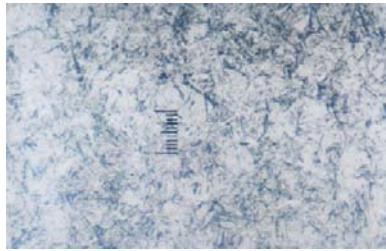
2. Tempering 100°C



Gambar 12 Struktur mikro spesimen uji tempering 100 oC dengan pembesaran 500x. Etza Nital



### 3. Tempering 200 °C



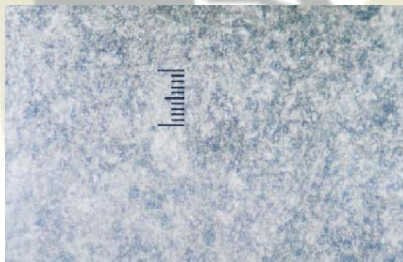
Gambar 13 Struktur mikro spesimen uji tempering 200 oC dengan pembesaran 500x. Etza Nital

### 4. Tempering 300 °C



Gambar 14 Struktur mikro spesimen uji tempering 300 oC dengan pembesaran 500x. Etza Nital

### 5. Tempering 400 °C



Gambar 15 Struktur mikro spesimen uji tempering 400 oC dengan pembesaran 500x. Etza Nital

## 13. PEMBAHASAN

Gambar 11 memperlihatkan struktur mikro spesimen uji awal (raw material) dari baja K-460. Struktur mikro yang menyusun spesimen uji awal adalah ferrit dan perlit. Struktur mikro yang berwarna terang merupakan proeutektoid  $\alpha$  (ferrit proeutektoid) dan yang gelap adalah perlit.

Gambar 12 memperlihatkan struktur mikro spesimen uji yang diberikan proses tempering suhu 100°C. Struktur mikro yang terbentuk dari proses ini yang kelihatan pada gambar 12 menunjukkan struktur martensit yang berbentuk jarum dan partikel karbida di dalam matriks martensit. Pada kondisi seperti ini nilai kekerasan yang dimiliki spesimen uji tinggi.

Gambar 13 memperlihatkan struktur mikro spesimen uji yang diberikan proses tempering suhu

200°C. Struktur mikro yang terbentuk dari proses ini yang kelihatan pada gambar 13 menunjukkan struktur martensit yang berbentuk jarum. Masih adanya perlit yang menjadikan nilai kekerasannya lebih rendah dari spesimen uji dengan proses tempering suhu 200°C.

Gambar 14 memperlihatkan struktur mikro spesimen uji yang diberikan proses tempering suhu 300°C. Struktur mikro yang terbentuk dari proses ini yang kelihatan pada gambar 14 menunjukkan adanya partikel karbida yang bulat di dalam matriks martensit.

Gambar 15 memperlihatkan struktur mikro spesimen uji yang diberikan proses tempering suhu 400°C. Struktur mikro yang terbentuk dari proses ini yang kelihatan pada gambar 15 menunjukkan partikel karbida yang bulat serta titik putih di dalam matriks martensit.

Dari hasil pemotretan uji struktur mikro, foto yang dihasilkan ada yang kurang jelas. Hal ini disebabkan pada proses polishing kurang sempurna. Sehingga pada proses analisa mengalami kesulitan.

## 14. KESIMPULAN

Dari proses tempering yang telah dilakukan dengan variasi suhu 100°C, 200°C, 300°C, dan 400°C untuk pengujian kekerasan, mikrografi dan uji tarik dari baja K-460, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kekerasan meningkat setelah dilakukan proses heat treatment yaitu berkisar 40 HRC.
2. Dengan suhu temper semakin tinggi yaitu sebesar 400 °C, harga kekerasan sebesar 54 HRC, hasil ini lebih kecil jika dibandingkan dengan suhu temper yang lebih rendah.
3. Struktur mikro pada proses tempering suhu 100 °C dan 200 °C memperlihatkan struktur martensit, sedangkan proses tempering suhu 300 °C dan 400 °C memperlihatkan struktur partikel karbida yang bulat dalam matriks martensit.
4. Kekuatan tarik maksimum sebesar 2014,8 Mpa dicapai pada suhu tempering 100 °C.

## 15. SARAN

1. Perlu dilakukannya pengujian untuk variasi suhu diatas 400°C yang penulis belum lakukan, untuk mengetahui perubahan sifat mekanisnya.
2. Perlu dilakukan pengujian lain pada baja K-460 untuk melengkapi pengujian yang ada dalam laporan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Alexander dkk, Sritatie Djaprie, 1990. *Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan*, Jakarta Gramedia
2. Amanto Hari dan Daryanto, 1999. *Ilmu Bahan*, Jakarta Smar Grafika Offset
3. Bradbury, E.J., 1990. *Dasar Metalurgi untuk Rekayasawan*, Jakarta Erlangga
4. Dietser, George E, Sritatie Djaprie, 1987. *Metalurgi Mekanik Jilid 1 Edisi Ketiga*, Jakarta Erlangga

5. Djaprie, Sriatie, 1990. *Teknologi Mekanik*, Jakarta Erlangga
6. George F.Vander Voort, *Metal Handbook Ninth Edition*, ASM Metal Park, OHIO
7. Harun A.R dan George Love, 1986. *Teori dan Praktek Kerja Logam*, Jakarta Erlangga
8. Schonmetz, Alois Karl Gruber, 1985. *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam*, Bandung Aksara
9. Sidabutar, Djaindar dan Sutarto S.M, *Petunjuk Praktek Pengukuran dan Pemeriksaan Bahan I*, Jakarta Depdikbud

