



BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi Komposit

Perkembangan teknologi material telah melahirkan suatu material jenis baru yang dibangun secara bertumpuk dari beberapa lapisan. Material inilah yang disebut material komposit. Material komposit terdiri dari lebih dari satu material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya. Pada dasarnya, komposit dapat didefinisikan sebagai campuran makroskopik dari serat dan matriks. Serat (*fiber*) merupakan material yang jauh lebih kuat dari penguatnya (*matriks*) dan berfungsi memberikan kekuatan tarik. Sedangkan penguatnya berfungsi untuk melindungi serat dari efek lingkungan dan kerusakan akibat benturan. Komposit dari serat karbon memiliki sifat ringan dan juga kuat. Komposit jenis ini banyak digunakan untuk struktur pesawat terbang, alat-alat olah raga, dan terus meningkat digunakan sebagai pengganti tulang yang rusak. Dibanding dengan material konvensional keunggulan komposit yaitu:

1. Memiliki kekuatan yang dapat diatur (*tailorability*)
2. Tahan lelah (*fatigue resistance*) yang baik
3. Tahan korosi, dan
4. Memiliki kekuatan jenis (rasio kekuatan terhadap berat jenis) yang tinggi

Manfaat utama dari penggunaan komposit adalah untuk mendapatkan kombinasi sifat kekuatan serta kekakuan tinggi dan berat jenis yang ringan. Dengan memilih kombinasi material serat dan matriks yang tepat, kita dapat membuat suatu material komposit dengan sifat yang tepat dan juga sama dengan kebutuhan sifat untuk suatu struktur tertentu dan tujuan tertentu pula (**Azki, 2007**).

2.2 Metal Matrix Composite (MMC)

Pengembangan awal komposit logam atau yang lebih sering disebut dengan *Metal Matrix Composite* (MMC) telah dimulai sejak tahun tujuh puluhan. Secara umum pengembangan teknologi komposit bertujuan untuk meningkatkan efisiensi struktur dan karakterisasi sifat material yang signifikan, seperti untuk aplikasi material yang ringan tapi sangat kuat (**Deni, dkk. 2008**). MMC merupakan material yang terdiri dari matriks berupa logam dan paduannya yang diperkuat oleh bahan penguat dalam bentuk *continuous fiber*, *whiskers*, atau *particulate*. Komposit yang membentuk MMC sendiri bergantung pada beberapa faktor yang mempengaruhi seperti jenis material komposit yang digunakan, fraksi penguat, dimensi dan bentuk penguat, serta beberapa variabel proses lainnya. Bahan matriks yang banyak dijumpai adalah logam aluminium, magnesium, dan titanium beserta paduannya.

Adapun contoh MMC berupa paduan aluminium dengan pengikat abu dasar batubara dan paduan aluminium dengan pengikat *carbon whisker*. Sementara syarat matriks yang harus dipenuhi untuk MMC yaitu mempunyai keuletan yang tinggi, mempunyai titik lebur yang rendah, serta mempunyai densitas yang rendah. Namun



Tugas Akhir

pada kenyataannya material matrik MMC mempunyai kekurangan yaitu biaya produksi masih mahal, serta standarisasi material dan proses yang sedikit.

Keuntungan proses produksi yang bisa didapat dengan menggunakan material komposit matrik logam dibandingkan logam aslinya adalah material lebih ringan, ketangguhan terhadap beban torsi atau puntir yang baik, kekerasan dan ketahanan aus yang baik, serta ekspansi *thermal* lebih baik dari pada logam aslinya. (Schwart, 1997)

Proses pembuatan MMC meliputi beberapa metode yang bisa diterapkan, yaitu *powder metallurgy*, *casting/ liquid ilfiltration*, *compocasting*, dan *gravitycasting*. (Nayiroh, 2013).

MMC dapat diaplikasikan pada beberapa produk, contohnya adalah sebagai berikut:

1. Komponen automotive (blok-silinder-mesin, pulley, poros, gardan, piringan cakram, dll)
2. Peralatan militer (sudu turbin, cakram kompresor, dll)
3. *Aircraft* (rak listrik pada pesawat terbang)
4. Peralatan elektronik

2.3 Aluminium

Aluminium merupakan salah satu jenis logam yang sangat ringan, beratnya hanya 1/3 baja, tembaga atau kuningan. Aluminium memiliki kekuatan yang baik, bahkan beberapa aluminium paduan kekuatannya melebihi baja. Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan alumina atau oksida aluminium yang kemudian alumina ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium. Aluminium adalah logam terpenting dari logam nonferro. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia dan Saito 1999 : 129).

Aluminium mempunyai beberapa sifat-sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. berikut :

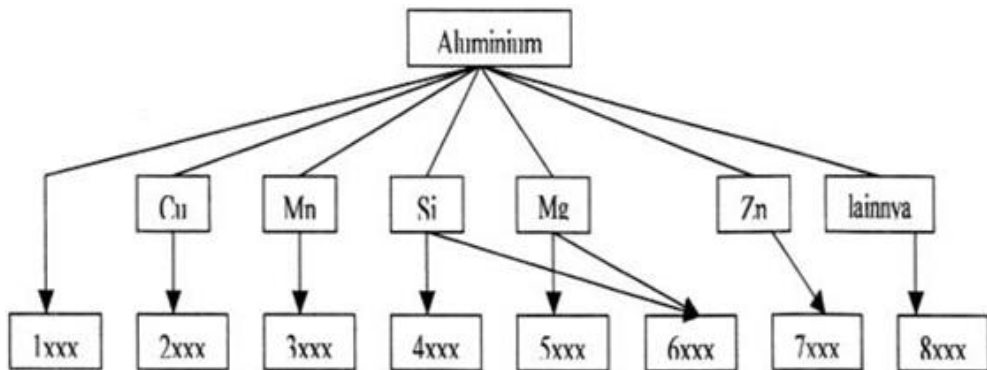
Tabel 2.1. Sifat-Sifat Fisik Aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Masa jenis (20 ⁰ C)	2,6989	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g. ⁰ C)(100 ⁰ C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59(dianil)
Tahanan listrik koefisien temperature (⁰ C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuai (20-100 ⁰ C)	23,86x10 ⁻⁶	23,5x10 ⁻⁶
Jenis kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> ,a= 4,013kX	<i>fcc</i> ,a= 4,04kX

(Surdia dan Saito, 1999 : 13)

2.3.1 Klasifikasi aluminium paduan

Aluminium murni relatif lunak dan penambahan unsur paduan dapat meningkatkan sifat mekanisnya. Pengelompokan paduan Al didasarkan pada jenis unsur paduan dengan menggunakan sistem 4 digit dimana digit pertama menunjukkan kelompok aluminium, digit kedua menunjukkan modifikasi dari paduan aslinya atau Batas unsur pengotor dan 2 digit terakhir menunjukkan kemurnian aluminium.



Gambar 2.1. Klasifikasi aluminium dan paduannya
(Surdia dan Saito, 1999 : 34)

Paduan aluminium secara umum diklasifikasikan berdasarkan cara pengolahan produk yang dihasilkan dikategorikan menjadi dua kategori yaitu:

1. Yang Dapat Dibentuk/Ditempa/Diramas (*Wrought Alloys*) *Wrought Alloys* ini dihasilkan dengan proses *forming* untuk meningkatkan kekuatannya. Prosesnya dibedakan menjadi 2 yaitu:
 - a. Paduan yang dapat diperlaku – panaskan (*Heat Treatable Alloys*) artinya paduan jenis ini merupakan paduan yang kekuatannya dapat ditingkatkan dengan cara perlakuan panas
 - b. Paduan yang tidak dapat diperlaku – panaskan (*Non-heat Treatable Alloys*) artinya paduan jenis ini merupakan paduan yang kekuatannya dapat ditingkatkan dengan pengerjaan dingin
2. Yang Dapat Dituang (*Cast Alloys*)

Cast Alloys merupakan paduan aluminium yang pengerjaannya dengan cara pengecoran yang kemudian dituang pada cetakan dengan bentuk benda yang diinginkan dengan *finishing* sebagai pengerjaan akhir agar sesuai dengan desain yang direncanakan.

2.3.2 Pengaruh unsur-unsur paduan

Unsur-unsur pepaduan aluminium antara lain :

- a. Tembaga (Cu)

Lambangannya berasal dari bahasa latin *Cuprum* merupakan konduktor panas dan listrik yang baik sekali. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang lambat sekali. Tembaga juga bersifat *paramagnetic*. Penambahan Cu akan memperbaiki sifat



Tugas Akhir

mampu aluminium paduan. Selain itu dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan.

- b. Silikon (Si)

Pengaruh paling penting dalam penambahan silikon adalah sifat mampu cor. Dalam hal ini yang dapat diperbaiki adalah dengan cara mengurangi penyusutan coran sampai satu setengah dari penyusutan aluminium murni, meningkatkan daya alirnya. Selain itu, paduan silikon akan meningkatkan ketahanan korosinya, baik ditambah unsur lain ataupun tidak.
- c. Magnesium (Mg)

Penambahan unsur magnesium digunakan untuk meningkatkan daya tahan aluminium dan meningkatkan sifat mampu bentuk serta mampu mesin aluminium tanpa menurunkan keuletannya.
- d. Zinc (Zn)

Penambahan seng akan meningkatkan sifat-sifat mekanis tanpa perlakuan panas serta memperbaiki sifat mampu mesin.
- e. Mangan (Mn)

Penambahan mangan akan meningkatkan daya tahan karat aluminium dan bila dipadukan dengan Mg akan memperbaiki kekuatan aluminium.
- f. Besi (Fe)

Penambahan besi dimaksudkan untuk mengurangi penyusutan. Tetapi kandungan besi yang besar juga akan menyebabkan struktur butir yang kasar dan dalam hal ini dapat diperbaiki dengan menambah sejumlah kecil Mn dan Cr.

2.3.3 Aluminium paduan

Logam aluminium dapat dengan mudah dipadukan dengan logam lain. Paduan aluminium yang penting antara lain :

- a. Paduan Al-Cu

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlakukan panas. Dengan melalui pengerasan endapan/penyepuhan sifat mekanis paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih bila dibandingkan jenis paduan lainnya (**Heine, 1976 : 294**). *Copper* adalah salah satu unsur paduan penting yang digunakan pada Al karena dengan paduan ini akan membentuk *solid-solution strengthening* dan dengan *heat treatment* yang sesuai dapat meningkatkan kekuatannya dengan membentuk *precipitate*.
- b. Paduan Al-Cu-Mg

Paduan ini mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg dan merupakan paduan yang memiliki kekuatan yang tinggi. Biasanya disebut dengan *duralumin*. Dalam penggunaannya biasa dipakai konstruksi pesawat terbang dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara kekuatan dan berat yang cukup besar.
- c. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya, mempunyai permukaan yang bagus, tanpa kegetasan panas, memiliki sifat mampu cor dan ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisiennya kecil dan sebagai penghantar listrik dan panas yang baik, karena sifat-sifatnya maka paduan ini



Tugas Akhir

banyak dipakai sebagai bahan untuk logam las dalam pengelasan logam paduan Al, baik pada paduan cor maupun paduan tempa.

d. Paduan Al-Mg

Paduan AL-Mg adalah paduan yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Pada paduan Al-Mg sekitar 4% atau 10% mempunyai ketahanan korosi dan sifat mekanis yang baik serta memiliki kekuatan tarik di atas 30 kg/mm² dan perpanjangan di atas 12% setelah perlakuan panas. Paduan ini biasa dipakai untuk bagian dari alat-alat industri kimia, kapal laut, kapal terbang dan sebagainya.

e. Paduan Al-Mg-Si

Paduan Aluminium-Magnesium-Silikon termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup (**Wirjosumarto, 2000**). Jika Magnesium Silika (Mg₂Si), kebanyakan paduan Aluminium mengandung Si, sehingga penambahan Magnesium diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari Mg₂Si. Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara, 0,03% - 0,01% (**Hiene, 1995 : 320**).

Tabel 2.2. Komposisi Kimia Al-Mg-Si

Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan lainnya (%)
6061	95,8-98,6	0,80-1,2	0,40-0,80	Max 0,70	Max 0,15	Max 0,25	0,15-0,40	0,040-0,35	Max 0,15	Max 0,15

(ASM Aero Space Metal Inc).

Tabel 2.3. Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si

Sifat	Nilai
<i>Density</i>	2,70 g/cm ³
<i>Melting Point</i>	650 °C
<i>Thermal Expansion</i>	23,4 x 10 ⁻⁶ /K
<i>Modulus of Elasticity</i>	70 Gpa
<i>Thermal Conductivity</i>	166 W/m.K
<i>Electrical Resistivity</i>	0,040 x 10 ⁶ Ω.m
<i>Tensile Strength</i>	310 MPa



(Aalco, 2013)

f. Paduan Al-Zn

Paduan ini lebih banyak mengandung aluminium dan merupakan paduan yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Dalam penggunaan biasa diaplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar. Titik lebur dari aluminium paduan Al-Zn 476°C - 657°C .

g. Paduan Al-Mn

Mn merupakan unsur yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung dalam paduan ini adalah 25,3%.

2.4 Perlakuan Panas

Perkembangan teknologi material berkembang pesat ke arah konstruksi yang kuat, ringan, murah, ramah lingkungan dan aman. Dari sebuah rangkuman yang ditulis oleh Avner (1974: 676) menyatakan bahwa perlakuan panas adalah: *“Heating and cooling a solid metal or alloy in such away as to obtain desired conditions or properties. Heating for the sole purpose of hot-working is excluded from the meaning of this definition”*.

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat mekaniknya. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dapat dihilangkan, ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil. Selain itu ketahanan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras di sekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas tepat, komposisi logam paduan harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis.

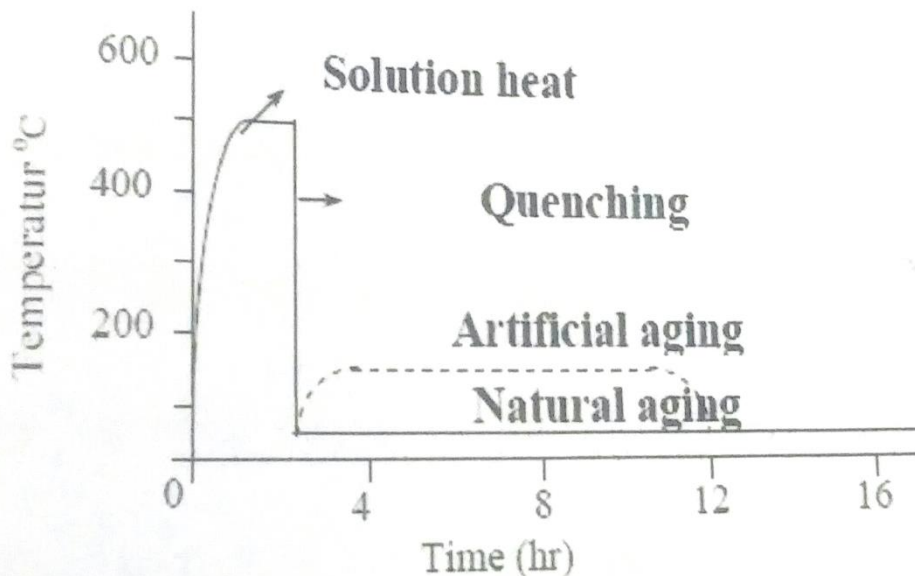
2.5 Perlakuan Panas T6

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dari suatu logam yang bertujuan untuk mendapatkan sifat mekanik yang optimum. Selain itu juga perlakuan panas khususnya aluminium bertujuan untuk memperoleh struktur logam hasil coran yang seragam, memperbaiki sifat mampu mesin, stabilitas dimensi, dan menghilangkan tegangan sisa (residual stress) akibat kontraksi selama peleburan.

Perlakuan panas yang paling sesuai sebagai proses finishing pada material komposit Al – abu dasar batubara ini adalah perlakuan panas T6. Dimana proses perlakuan panas T6 dilakukan dalam tiga tahap yaitu:

- a. Solution heat treatment
- b. Quenching (pendinginan)
- c. Aging (waktu tahan)

Tiga kondisi diatas dinyatakan secara grafis pada gambar berikut :



Gambar 2.3. Proses perlakuan panas T6

Perubahan struktur selama proses aging pada kenyataannya sulit diteliti. Dengan naiknya temperature aging, komposisi dan proses pengendapan yang berbeda dapat terjadi berturut ataupun serentak.

2.6 Perubahan Bentuk Selama *Hardening* dan *Tempering*

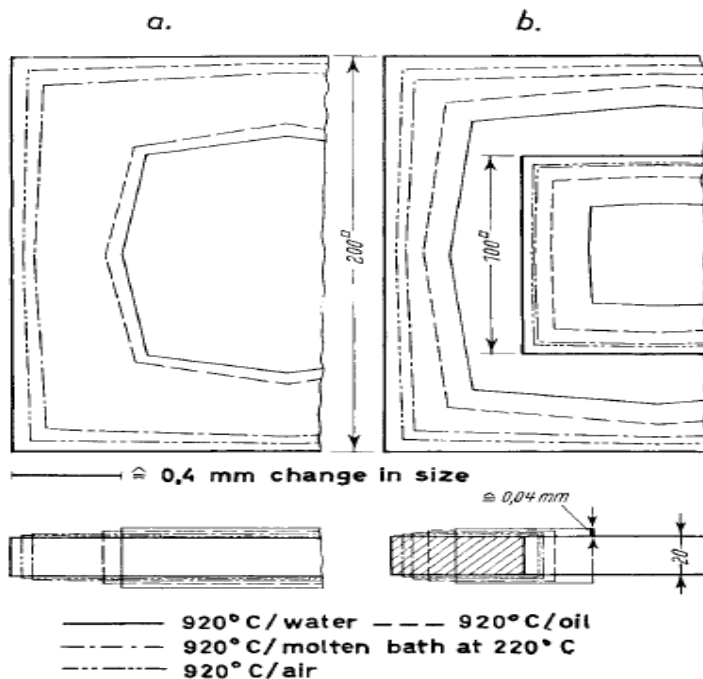
Salah satu permasalahan yang sulit dihindari dalam perlakuan panas yaitu perubahan dimensi yang terjadi dalam baja setelah *hardening* dan *tempering*. Berubah dalam bentuk dan ukuran. K.E. Thelning.

2.6.1 Perubahan bentuk selama *hardening*

Salah satu penyebab utama dari perubahan dimensi adalah stres yang terjadi akibat dari kontraksi material selama pendinginan, (tegangan termal). Penyebab lainnya adalah transformasi stres yang terjadi akibat dari pembentukan martensit.

2.6.2 Tegangan termal

Ketika temperatur bodi turun, lapisan luar lebih cepat menurun. Efek dari tegangan termal dapat dipelajari di baja karbon rendah, dimana kita dapat mengabaikan kemungkinan dari formasi martensit. Baja *austenitic* juga cocok untuk study. Frehser dan Lowitzer melakukan serangkaian penelitian efek dari variasi pendingin pada slab ukuran 200 x 200 x 20 mm terbuat dari baja ringan. Slab α di Gambar 2.3 menunjukkan dengan jelas penurunan temperatur secara drastis, dengan menunjukkan perubahan dimensi yang semakin besar. Gambar 2.3 menunjukkan semakin besar penurunan temperatur setelah pendinginan, semakin besar deformasi.



Gambar 2.4. Perubahan bentuk plat dari baja karbon rendah (0-10% C), setelah pendinginan dengan media udara, oli, (after Frehser).

2.6.3 Transformasi stres

Selama pemanasan dan pendinginan plat baja melewati jenis struktural transformasi. Berbagai penyusun struktural memiliki perbedaan kepadatan dan nilai spesifik volume, lihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Spesifik volume fasa baja karbon

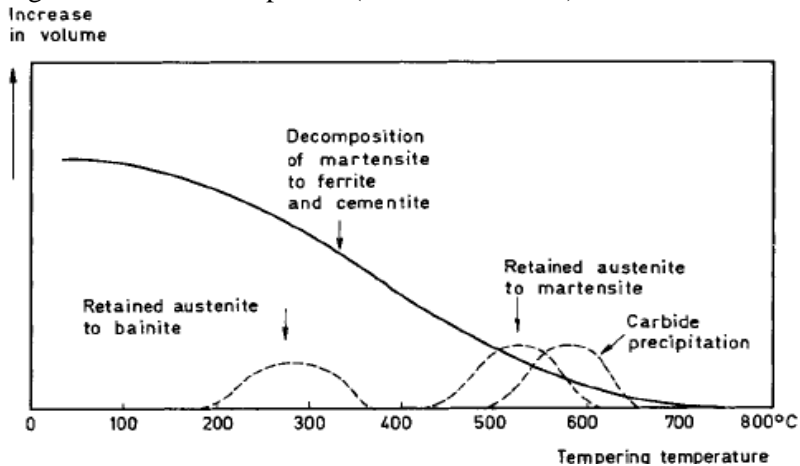
Phase or phase mixture	Range of carbon %	Calculated specific volume at 20°C cm ³ /g
Austenite	0-2	0.1212 + 0.0033 · (%C)
Martensite	0-2	0.1271 + 0.0025 · (%C)
Ferrite	0-0.02	0.1271
Cementite	6.7 ± 0.2	0.130 ± 0.001
Epsilon carbide	8.5 ± 0.7	0.140 ± 0.002
Graphite	100	0.451
Ferrite + cementite	0-2	0.1271 + 0.0005 · (%C)
Low-carbon content martensite + epsilon carbide	0.25-2	0.1277 + 0.0015 · (%C - 0.25)
Ferrite + epsilon carbide	0-2	0.1271 + 0.0015 · (%C)

2.6.4 Perubahan dimensi selama tempering

Setelah tempering struktur transformasi terjadi yang mana mengubah volume baja. Ada korelasi tertentu diantara temperatur tempering, volume dan tegangan. Dari sudut pandang edukasi mungkin sebaiknya membedakan antara perubahan volume dan perubahan tegangan.

2.6.5 Perubahan volume

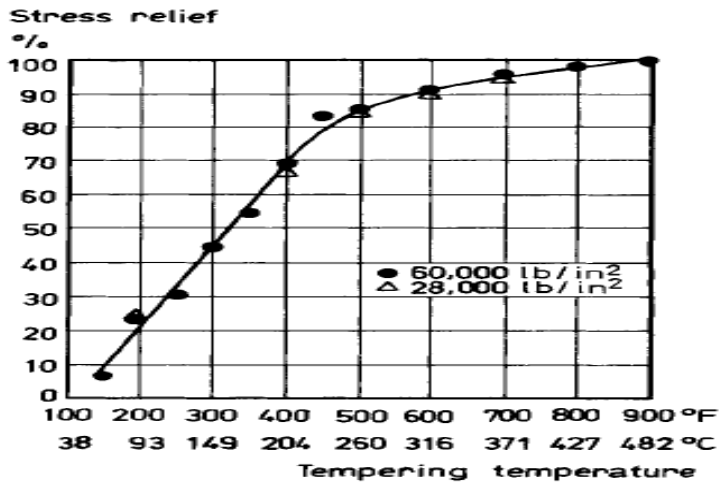
Setelah tempering martensit terurai dengan ferit dan cementite yang mana menunjukkan penurunan volume terus menerus. Hasil dari tempering di temperatur tinggi volume kembali besar dan nilai asli sebelum hardening, asalkan kita mengabaikan deformasi plastik (lihat Gambar 2.5.)



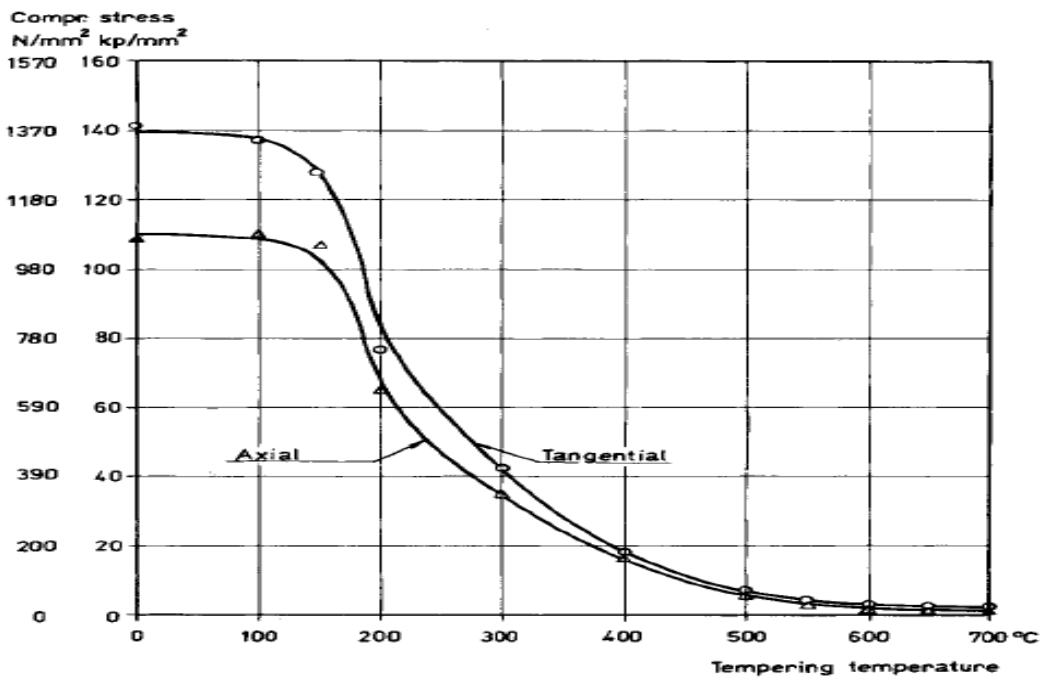
Gambar 2.5. Skematik representasi efek dari perubahan struktur konstitusi pada perubahan volume setelah tempering pada baja setelah dihardening

2.6.6 Perubahan di kondisi tegangan

Kondisi stres yang berlaku di baja setelah dihardening, seperti yang disebutkan sebelumnya, diatur oleh tegangan thermal dan transformasi stres yang terjadi setelah hardening. Dekomposisi yang berkelanjutan dari martensit setelah tempering penyebab penurunan yang sama terus menerus dalam keadaan stres yang memungkinkan transformasi dari austenit ke martensit. Dengan menggunakan tes *split-ring*, Brown dan Cohen melakukan penelitian perubahan tegangan yang terjadi pada bal bearing yang sudah dihardening tipe AISI 52100.



Gambar 2.6. Pemulihan selama tempering bal bearing yang sudah dihardening (after Brown and Cohen)



Gambar 2.7. Pemulihan selama tempering dari *induction-hardened roll* untuk pengerollan dingin.

2.7 Electroless Plating

Electroless merupakan proses plating yang tidak menggunakan arus listrik dalam proses pelapisannya. Pelapisan yang terjadi karena adanya reaksi oksidasi dan



Tugas Akhir

reduksi pada permukaan barang, sehingga terbentuk lapisan logam yang berasal dari logam tersebut. Karena tidak menggunakan bantuan arus listrik dalam pertukaran elektron, proses pelapisan yang terjadi berjalan lebih lambat, sehingga untuk mempercepat pelapisannya, temperatur pada prosesnya harus tinggi, bisa lebih dari 90°C.

Electroless plating mirip seperti reaksi kimia dan tanpa menggunakan sumber listrik. Diaplikasikan contohnya pada nikel selaku material sepenuhnya. *Electroless plating* bisa digunakan untuk non konduktif metal seperti plastik, dan keramik. Proses ini lebih mahal dibandingkan dengan *electro plating*, tetapi proses ini hasil pelapisannya lebih seragam.

Electroless plating adalah deposisi metal dari larutan dengan menggunakan agen pereduksi (RA) dalam larutan atau disolusi substrat dengan elektron bebas. *Electroless plating* biasanya digunakan untuk komponen mekanik maupun elektronik khususnya meningkatkan ketahanan aus (*wear resistance*) dan dalam beberapa kasus meningkatkan korosi (dengan perlakuan khusus). Proses ini sangat tidak tergantung dari geometri spesimen. **(Eka Puji Hemawan 2015).**