

#### IV. KEGIATAN BELAJAR 4

##### DIAGRAM PHASA

###### A. Sub Kompetensi

Diagram fasa untuk bahan teknik dapat dijelaskan dengan benar

###### B. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

Setelah pembelajaran ini mahasiswa mampu menjelaskan diagram fasa untuk bahan teknik

###### C. Uraian Materi.

###### 1. Pendahuluan

Perubahan Struktur pada bahan paduan terdiri dari fase tunggal, serta fase campuran, dimana fase adalah bagian dari perubahan sistem kimia untuk menghasilkan paduan dengan karakter khusus bergantung pada komposisi dan temperatur pendinginannya. Fase berada selama pendinginan dan pada temperatur ruangan serta tergantung pula pada perilaku susunan unsur-unsur lainnya. Perilakunya Struktur logam paduan pada temperatur ruangan dapat diklasifikasikan ke dalam :

- Larutan padat penuh (terjadi persenyawaan penuh)
- Bukan larutan padat penuh (tidak terjadi persenyawaan penuh)
- Larutan padat terbatas (terjadi persenyawaan terbatas)
- Membentuk formasi antar campuran bahan logam.

###### a. Persenyawaan penuh dalam larutan padat

Ketika paduan berada dalam keadaan cair (liquid) atom logam yang tersusun akan menyebar dan membentuk larutan cair (*Liquid solution*), dan ketika proses pematatan terjadi, atom-atom akan menyusun diri, susunan atom ini yang disebut *space lattice*. Atom-atom yang tersusun dan berukuran sama akan mengambil tempat dari susunan atom lainnya pada *space-lattice*. Ini akan menghasilkan *single phase*. Jika dilihat secara *microscopic* ini tidak mungkin menemukan susunan dari paduan sebelumnya dimana mikrostrukturnya akan menyerupai logam murni. Sedangkan larutan padat juga akan tetap ada dimana dihasilkan dari susunan atom yang memiliki ukuran sama dan ini yang disebut larutan padat pengganti.

###### b. Tidak terjadi persenyawaan dalam keadaan padat

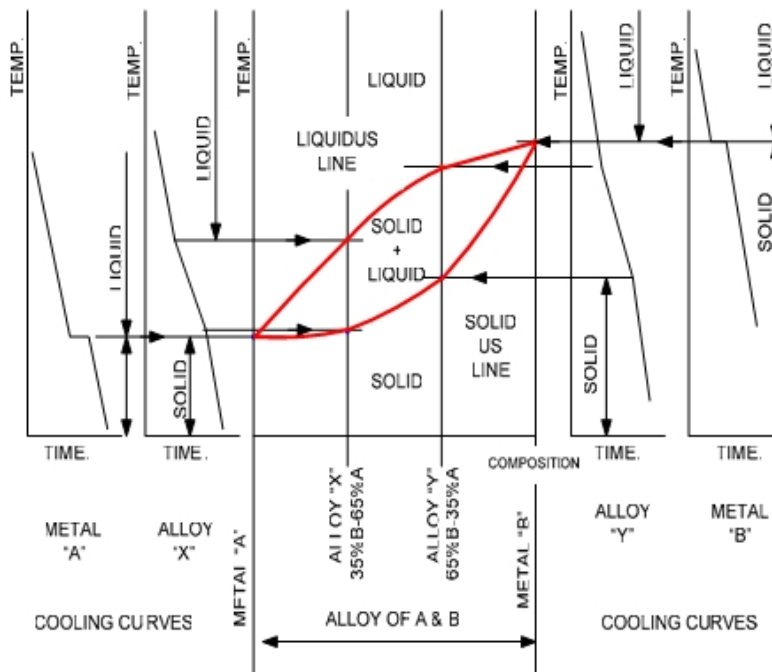
Pada kasus yang jarang terjadi dimana susunan paduan tidak membentuk larutan dan setiap butiran terdiri atas lapisan dari setiap logam murni. Bahan ini tidak termasuk paduan yang memenuhi syarat sebagai bahan teknik.

**c. Terjadi batas persenyawaan dalam keadaan padat**

Sangat sering terjadi dalam pembentukan logam paduan terjadi batas persenyawaan satu dengan yang lainnya. Hal ini terjadi jika sejumlah kecil dari logam ditemukan terbentuk larutan padat, tetapi sebagian diantaranya melapisi batas dari kedua bagian larutan padat tersebut.

**d. Membentuk formasi antar campuran bahan logam**

Pada logam tertentu akan terbentuk dari campuran antar logam, dua jenis logam memiliki valensi normal sangat rendah rendah dan terbentuk seperti campuran, atau berada pada perbandingan yang sama pada setiap molekul serta jumlah atom dari setiap molekul tersebut. Hal ini merupakan campuran antar logam, sifatnya sangat keras dan rapuh dan tidak memenuhi syarat kebutuhan bahan.



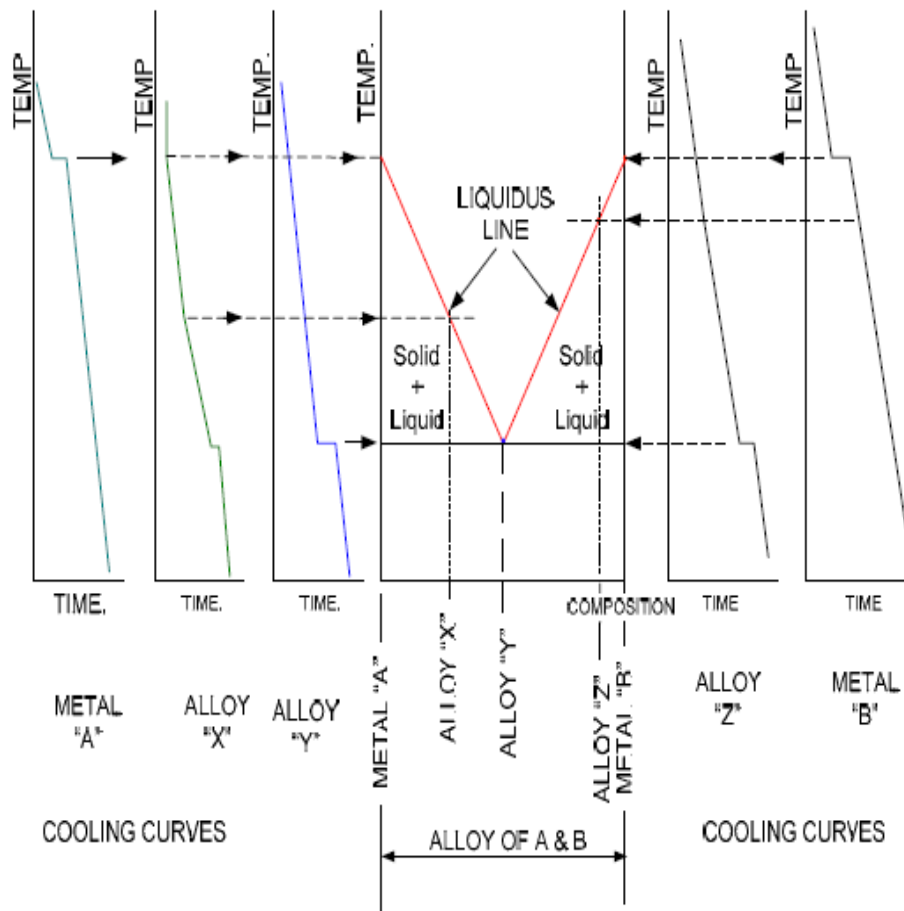
Gambar 4.1 Diagram keseimbangan thermal untuk logam “A” dan logam “B”

**2. Diagram Fasa**

Diagram keseimbangan thermal merupakan sistem yang menunjukkan indikasi perilaku dari unsur paduan paduan selama proses pematatan serta perubahan bentuk struktur sebagai hasil dari pendinginan lambat dalam keadaan padat. Perilaku dua unsur paduan (untuk paduan yang terdiri dari dua jenis logam) akan sangat mudah diperlihatkan melalui diagram ini, akan tetapi untuk paduan yang kompleks memerlukan

metoda tiga dimensi dan lebih rumit, jadi dalam hal ini hanya diperlihatkan diagram keseimbangan untuk paduan yang hanya terdiri atas dua unsur paduan sebagai bahan pemahaman tentang karakteristik logam paduan yang digunakan sebagai bahan teknik serta proses perlakuan panas pada beberapa jenis paduan.

Paduan dapat dikelompokkan berdasarkan prilakunya terhadap paduan lain, Diagram keseimbangan thermal menunjukkan hubungan setiap kelompok paduan pada bentuk yang sama (lihat gambar 4.1)

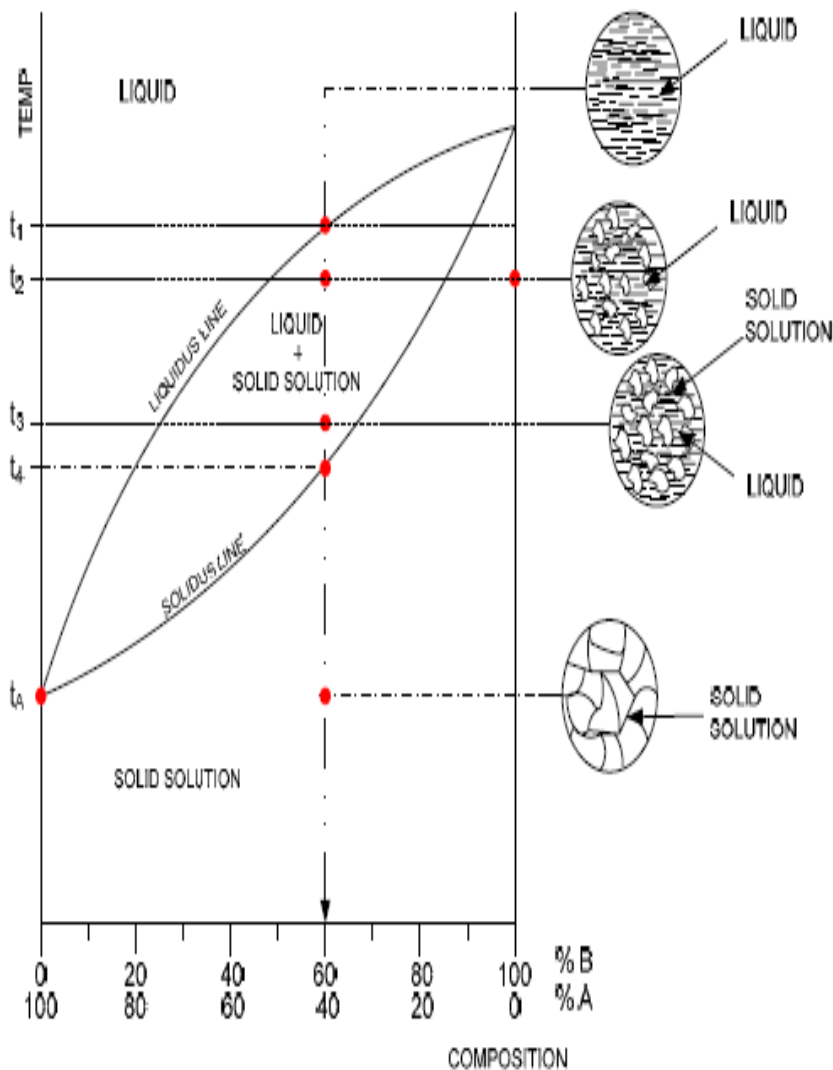


Gambar 4.2 Diagram keseimbangan thermal untuk Logam "A" dan Logam "B"

### 3. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat

Terjadi dua phase pada sistem ini yakni larutan cair dan larutan padat, pada diagram keseimbangan diperlihatkan dua bidang single phase dipisahkan oleh bidang double phase garis liquidus dan garis solidus juga terjadi perubahan dalam komposisi larutan cair dan larutan padat dari masing-masing paduan tersebut. Pada diagram ini menunjukkan bahwa proses pemadatan terjadi pada logam B sebesar 60% dan logam

A sebesar 40%, dimana pemadatan pada paduan ini diperlihatkan dengan garis bantu vertical



Gambar 4.3 Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat

Apabila temperatur dari larutan cair turun ke posisi  $t_1$  proses pemadatan dimulai dimana partikel pertama terbentuk dari larutan padat yang terdiri dari 93% logam B dimana diperlihatkan oleh perpotongan garis horizontal  $t_1$  dengan garis solidus.

Apabila temperatur dari paduan turun ke posisi  $t_2$  logam cair B jumlahnya menjadi 48% pada keadaan ini larutan padat terdiri dari 93% logam B dimana diperlihatkan oleh perpotongan garis horizontal  $t_2$  dengan garis solidus.

Prosentase larutan cair dan larutan padat dari logam B ini akan menurun secara kontinyu dan apabila temperatur dari paduan mencapai  $t_3$  larutan cair yang tertinggal dari

logam B adalah 18% dan larutan padat menjadi 65 %.

Temperatur  $t_4$  dimana proses pemadatan akan tercapai penuh dengan sisa larutan cair dari logam B sebesar 15 % pada penyelesaian proses pemadatan ini larutan padat dari logam B adalah 60 %.

### Diagram keseimbangan

Perubahan komposisi larutan padat secara berangsurangsur ini akan terindikasi pada diagram keseimbangan jika proses pendinginan yang diberikan cukup lambat dan menyebar, dimana apabila proses pendinginan yang terlalu cepat akan mengakibatkan penumpukan butiran-butiran padat pada logam B, akibatnya bagian luar dari butiran logam B akan lemah (lembek) dimana struktur menjadi tidak seragam dan keadaan ini yang disebut coring. Untuk keseragaman pada struktur A dapat diperoleh melalui pemanasan ulang dengan temperatur di bawah garis solidus.

#### 4. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam yang tidak larut secara penuh ke dalam larutan padat

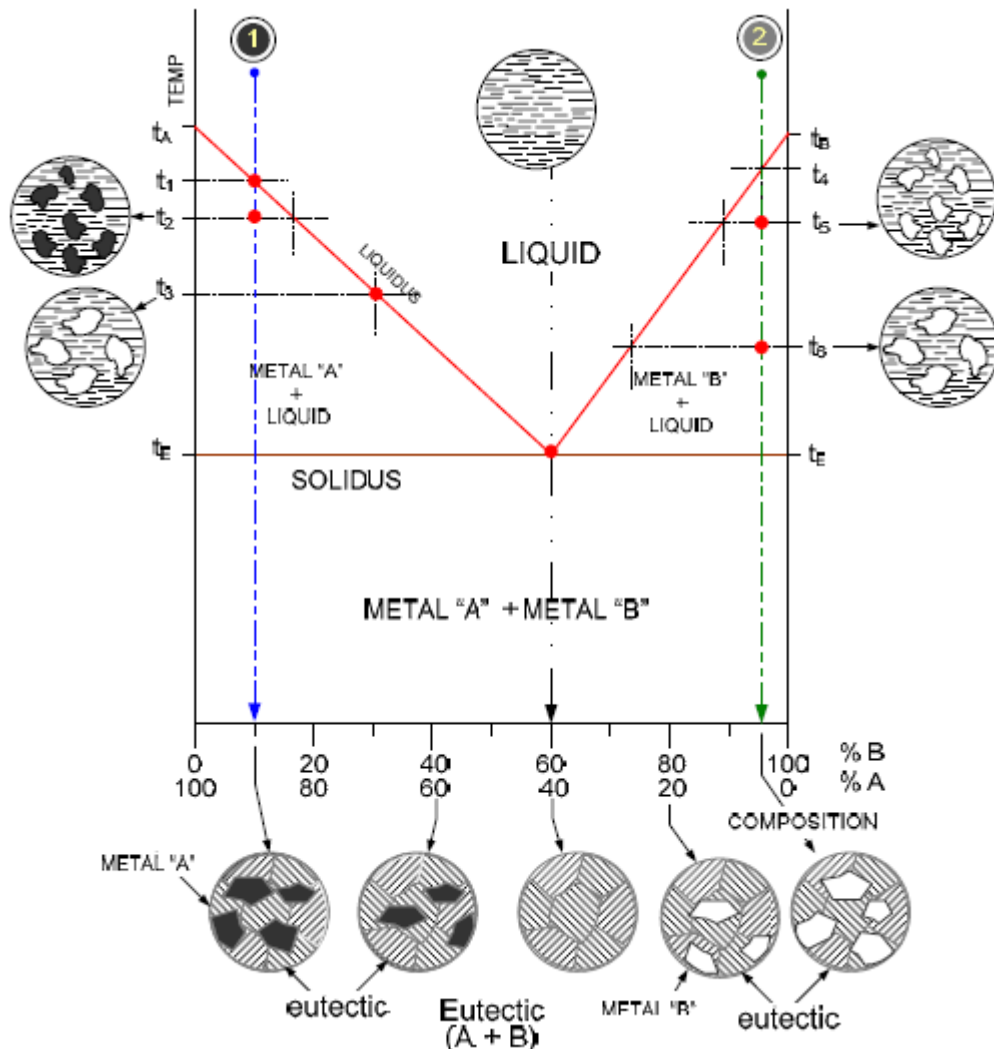
Keadaan dimana dua jenis logam yang tidak larut secara penuh ke dalam larutan padat selama proses pendinginan, dalam hal ini terjadi tiga phase perubahan pada logam A dan Logam B, Diagram keseimbangan menunjukkan sebuah komposisi yang disebut eutectic, suatu contoh dari paduan yang terdiri atas 60 logam A dan 40% logam B. Temperatur dimana merupakan temperatur awal proses pemadatan sangat rendah, eutectic memadat secara konstan pada temperatur  $t_E$  membentuk struktur laminate yang menyerupai logam murni, karena memang struktur eutectic melapisi kedua logam murni tersebut. Keadaan ini diinterpretasikan diagram keseimbangan yang mengingatkan kepada kita tentang proses pemadatan pada dua jenis paduan. (lihat gambar gambar 4.4 Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam tidak larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat).

##### a. Proses pemadatan pada paduan 1

Paduan ini mengawali pemadatan pada temperatur  $t_1$  pemadatan yang diperoleh akan berbentuk logam murni A, tersisa adalah logam B dengan kadar sesuai prosentasenya dan akan meningkat selama proses pendinginan berlangsung. Hal ini diperlihatkan pada diagram keseimbangan dengan garis liquidus (liquidus line) seperti terlihat pada gambar 4,4.

Pada saat temperatur turun ke  $t_2$ , sisa logam cair dari logam B sebesar 20 % dan ketika temperatur mencapai  $t_3$  sisa logam cair B sebesar 40 %. Hal ini akan nampak jelas

komposisi sisa logam cair mendekati eutectic selama pendinginan, komposisi ini akan terjadi tercapai capai jika temperatur turun ke  $t_E$  dimana temperatur tercapai sisa logam cair akan memadat dalam bentuk eytectic. Dalam pemadatan ini akan diperoleh logam murni dari logam A + eutectic (A+B).



Gambar 4.4. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam tidak larut secara penuh di dalam larutan padat

**b. Proses pemadatan pada paduan 2**

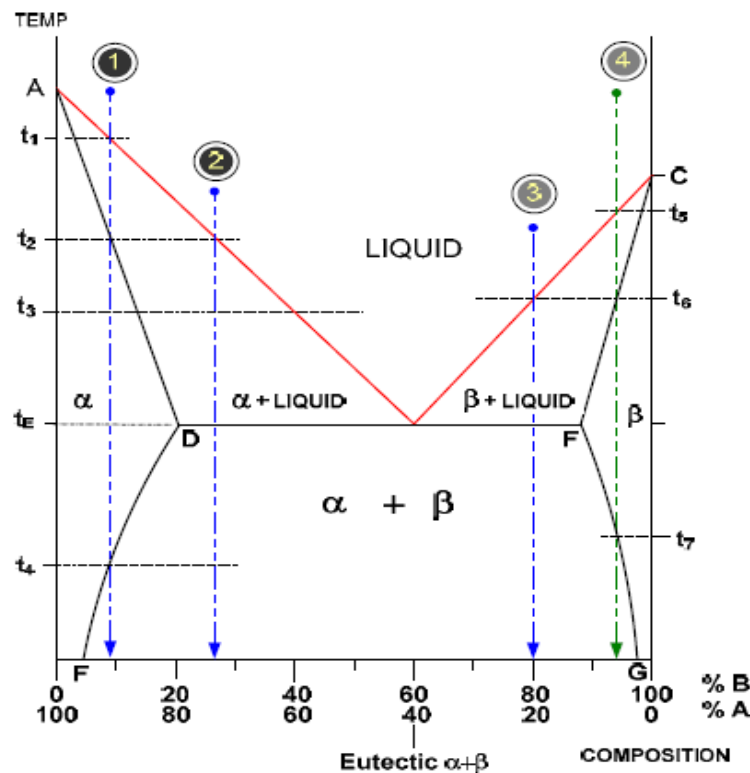
Paduan ini mengawali pemadatan pada temperatur  $t_4$  : pemadatan yang diperoleh akan berbentuk logam murni B, prosentase sisa dari logam B akan meningkat selama proses pendinginan berlangsung. Hal ini diperlihatkan pada diagram keseimbangan dengan garis liquidus (liquidus line). (Gambar 4.4).dimana akan terlihat peningkatannya 90% di  $t_5$  dan 75 % di  $t_6$ .

Selanjutnya komposisi logam cair akan mendekati eutectic selama proses pendinginan, dengan demikian komposisi eutectic akan meningkat pada temperatur  $t_E$ . Jia temperatur meningkat sisa logam cair akan meningkat menjadi padat kepada bentuk eutectic. Struktur akhir yang akan diperoleh ialah logam murni B + eutectic (A+B).

**5. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan batas larutan di dalam larutan padat**

Diagram keseimbangan ini hampir sama dengan diagram keseimbangan yang telah dijelaskan pada uraian 4.4., kecuali dalam setiap susunan dari beberapa larutan lain. Dua unsur larutan padat justru merupakan logam murni (*pure Metals*). Larutan padat ini ialah (1) Larutan B didalam A (terlihat pada diagram dengan  $\alpha$ ) dan (2) ialah larutan padat dari A didalam B (terlihat pada diagram dengan  $\beta$ ) Untuk sistem ini eutectic berisi lapisan dari dua unsur lapisan padat ( $\alpha + \beta$ ), seperti terlihat pada gambar 4.5; garis 'A-B-C' ialah garis liquidus dan garis 'A-D-C' ialah garis solidus

Beberapa unsur dari logam 'B' akan pecah dan masuk pada logam 'A' yang membentuk larutan padat ' $\alpha$ ' larutan ini akan tergambar sebagai garis. Solvus (Solvus line) 'D-F', beberapa arutan dari logam 'A' akan pecah dan masuk kedalam larutan 'B' untuk membentuk larutan padat ' $\beta$ ', larutan ini akan terlihat pada diagram sebagai garis Solvus (Solvus line) 'E-G'



Gambar 4.5 Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan batas larutan di

dalam larutan padat

Sistem ilustrasi dari diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan 4 unsur paduan sebagaimana kita lihat pada gambar 4.5, larutan padat dari logam B di dalam logam A berada maximum pada titik  $t_E$  dimana larutan itu terdiri atas 20% logam B (perhatikan titik D pada diagram), penurunan temperatur mengakibatkan penurunan kadar logam B tersebut hingga 3 % yang masuk kedalam larutan padat secara penuh jika temperatur mencapai temperatur ruangan terlihat pada diagram dimana ditunjukkan dengan garis penghubung DF.

Proses yang sama juga terjadi pada larutan padat tersebut untuk logam A yang masuk kedalam logam B (perhatikan pula titik E pada diagram) dimana maksimum terjadi pada titik  $t_E$ , sejalan dengan penurunan temperatur kadar logam A juga akan menurun hingga 10% perhatikan titik E pada diagram, penurunan temperatur hingga temperatur ruangan juga akan menurunkan kadar logam A pada larutan padat hingga 2%, terlihat pada diagram melalui garis penghubung EG.

#### a.. Pendinginan pada paduan 1

Awal pemadatan dari bahan paduan 1 terjadi pada temperatur dititik  $t_1$ , dan secara berangsur-angsur hingga berakhir dititik  $t_2$  dimana terbentuknya larutan padat secara penuh kedalam larutan padat  $\alpha$  dan tidak terjadi perkembangan hingga temperatur  $t_4$  namun ketika larutan logam B masuk ke dalam larutan logam A yang merupakan awal pemadatan, kelebihan unsur logam B mengendap dari larutan padat  $\alpha$  untuk membentuk larutan padat  $\beta$  bersama dengan sebagian logam A. Pengendapan ini akan berlangsung hingga temperatur turun hingga temperatur ruangan. Struktur akhir yang diperoleh dari proses ini ialah  $(\alpha + \beta)$ .

#### b. Pendinginan pada paduan 2

Bahan paduan ini akan mulai memadat pada tempertur dititik  $t_2$  yang akan menghasilkan larutan padat  $\alpha$ . Selama pemadatan sisa paduan cair akan meningkat dan sisa paduan cair eutectic terbentuk jika temperatur turun hingga  $t_E$ , sisa cairan ini akan memadat dan membentuk eutectic  $(\alpha + \text{Liquid})$ , sehingga struktur akhir akan diperoleh  $(\alpha + \beta)$ .

#### c. Pendinginan pada paduan 3

Proses pemadatan untuk larutan ini dimulai pada penurunan temperatur pada titik  $t_6$ , dalam keadaan ini akan dihasilkan larutan padat  $\beta$ , larutan padat ini mengandung



prosentase kadar logam B yang cukup besar serta akan tersisa secara meningkat sesuai dengan penurunan temperatur (lihat garis liquidus pada diagram keseimbangan gambar 4.5) dan penurunan temperatur hingga t<sub>E</sub> kelebihan paduan cair ini akan membentuk komposisi eutectic dan eutectic padat. Dari proses ini akan diperoleh struktur ( $\alpha+\beta$ ).

#### d. Pendinginan pada paduan 4

Awal proses pematatan ini terjadi dimana temperatur mencapai titik t<sub>5</sub> dan berlangsung secara berangsur-angsur serta terus menerus hingga temperatur turun ke t<sub>6</sub> namun tidak terjadi perubahan hingga temperatur turun ke t<sub>7</sub>. Ketika larutan logam A masuk kedalam larutan logam B, penurunan dimulai. Kelebihan unsur logam A akan mengendap dari larutan padat  $\beta$  dan membentuk larutan padat  $\alpha$  bersama dengan beberapa unsur logam B. Ini merupakan temperatur akhir dimana terbentuknya struktur ( $\beta + \alpha$ ). Jika kadar bahan paduan lebih kecil dari 3 % logam B atau lebih kecil dari 3% logam A, endapan tidak memiliki tempat sehingga hasil akhir dari struktur bahan adalah  $\beta$ .

### 6. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan bentuk campuran antar logam (Intermetallic compound)

Gambar 4.6 ini merupakan suatu contoh dari diagram keseimbangan untuk paduan dua jenis logam yang menghasilkan bentuk campuran antar logam tersebut atau yang disebut sebagai intermetallic compound.

Bentuk diagram yang rumit secara sederhana kita perhatikan dua diagram keseimbangan berikut, dimana gambar 4.7 merupakan diagram logam A dengan campuran antar logamnya (intermetallic compound) X, dan Gambar 4.8 adalah diagram keseimbangan dari logam B dengan campuran antar logamnya juga X. Masing-masing sistem paduan ini mendapatkan eutectic, namun sebagaimana kita lihat bahwa eutectic tidak padat pada temperatur yang sama.

Beberapa jenis logam terbentuk dari paduan antar logam (intermetallic compound) sedangkan paduan antar logam yang lainnya terdiri atas komposisi yang berbeda, dimana sistem yang memiliki tiga komposisi eutectic. Jika demikian ilustrasi diagram keseimbangannya menjadi sangat kompleks, namun dalam menginterpretasi perilaku pencampuran logam dengan logam paduan ini dapat dipecah menjadi diagram yang lebih sederhana.

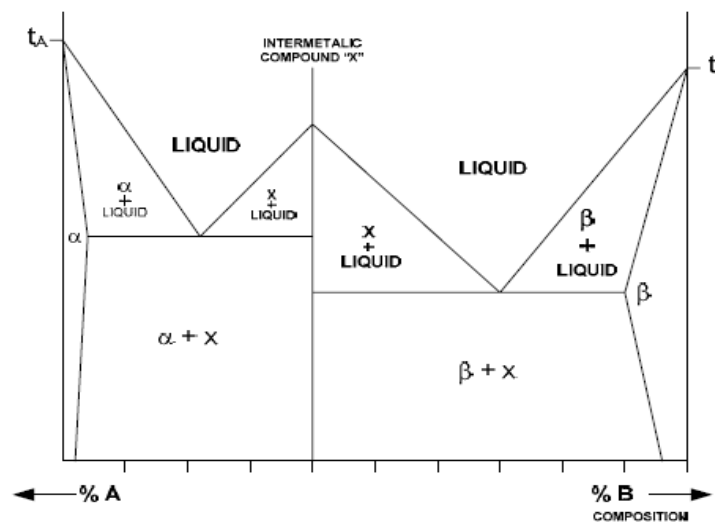
#### a. Reaksi Peritectic

Reaksi Peritectic akan mengambil tempat dalam sistem paduan ketika larutan dalam keadaan padat dengan menyisakan cairan yang bereaksi untuk membentuk phase

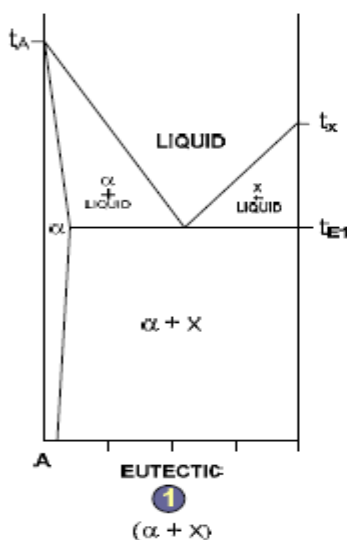
yang lain (lihat gambar 4.9 ). Garis 'A' - 'B' - 'C' ialah garis liquidus. Garis 'A' - 'D' - 'F' ialah garis Solidus. Reaksi peritectic mengambil tempat pada temperatur  $t_p$  dimana komposisi paduan berada diantara titik 'D' dan 'B'.

**b. Pemadatan paduan 1**

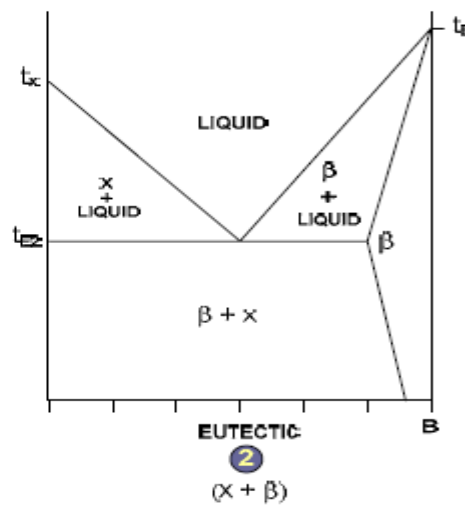
Phase  $\alpha$  dihasilkan dari unsur paduan selama proses pendinginan, dimana komposisi dari phase ini mendekati titik 'D', pada saat komposisi dari sisa cairan mendekati 'B' komposisi ini meningkat dimana temperatur paduan menurun ke titik  $t_p$  dan pada saat ini reaksi Peritectic mengambil tempat dan menghasilkan phase  $\alpha$ . Banyaknya susunan 'B' terdapat didalam paduan ini tidak mencukupi semua phase  $\alpha$  dan juga telah terjadi pemadatan pada kedua phase  $\alpha$  dan  $\beta$ .



Gambar 4.6 Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan bentuk campuran antar logam (Intermetallic compound)



Gambar 4.7 Diagram keseimbangan logam A



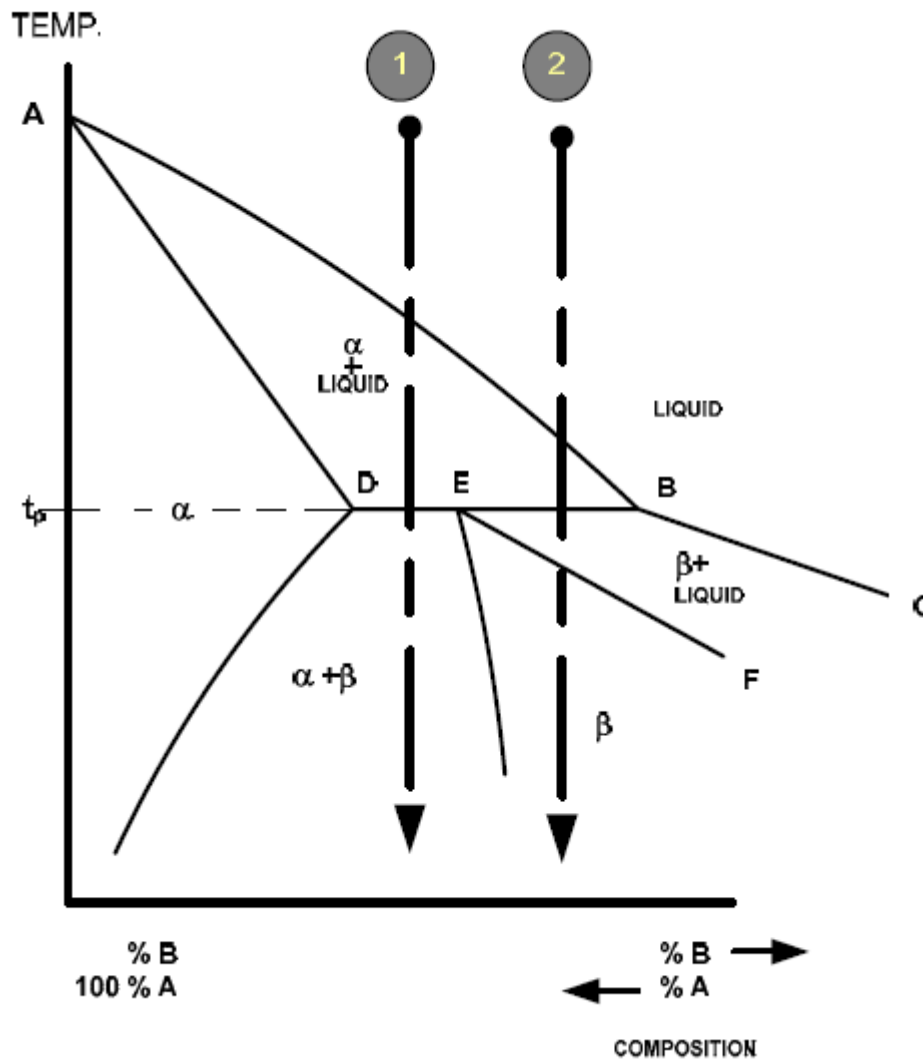
Gambar 4.8 Diagram keseimbangan logam B

**c. Pemadatan paduan 2**

Ketika temperatur paduan ini turun ketitik  $t_p$  reaksi peritectic mengambil tempat untuk menghasilkan phase  $\beta$ , disebabkan oleh tingginya jumlah susunan 'B' tidak semua cairan akan terpakai. Proses pemadatan akan terjadi secara menyeluruh ketika temperatur paduan berlanjut turun dan padat kecuali phase  $\beta$ .

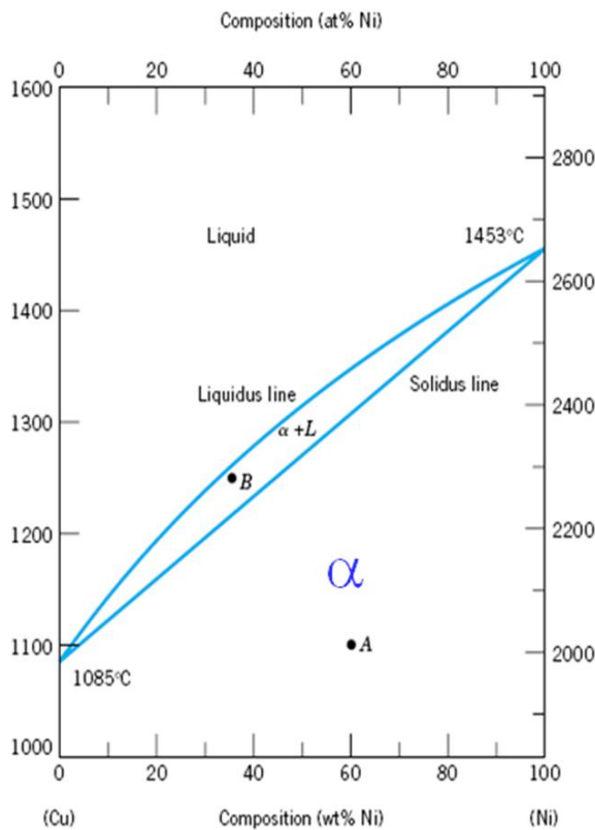
**d. Pemadatan paduan 3**

Reaksi Peritectic akan mengambil tempat selama pendinginan dalam paduan copper-zinc, cooper-tin dan copper-alumunium alloys.



Gambar 4.9. Diagram keseimbangan dimana reaksi peritectic mengambil tempat

7. Komposisi Fasa



Titik A: 60 wt% Ni pada 1100°C

Q: Fasa yang terjadi?

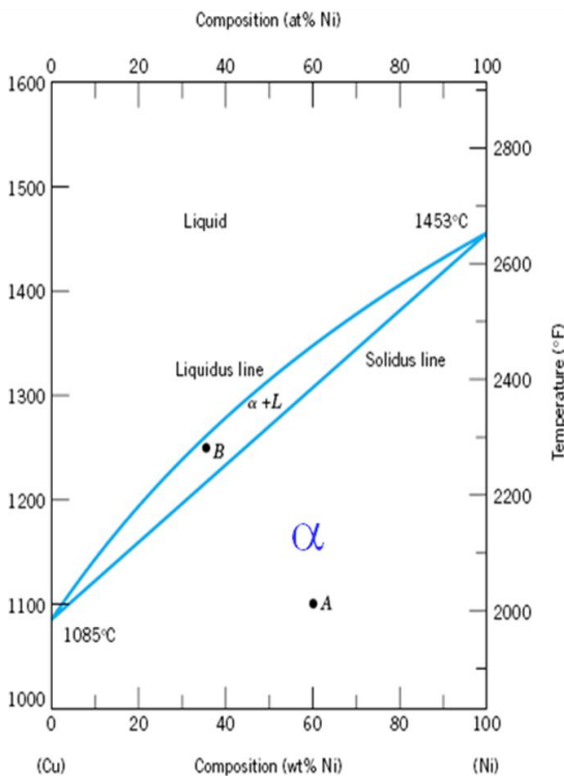
Ans:  $\alpha$

Q: Komposisi Fasa ?

Ans: 60 wt%Ni

Q: Jumlah Fasa ?

Ans: 100%



Titik B: 35 wt% Ni pada 1250°C

Q: Fasa yang ada ?

Ans:  $\alpha + L$

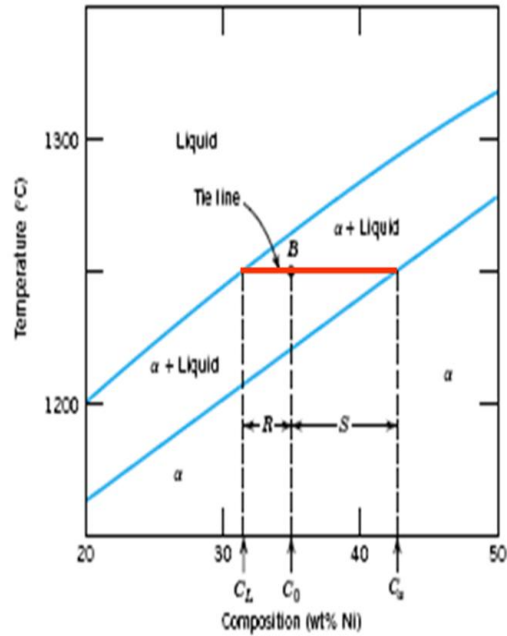
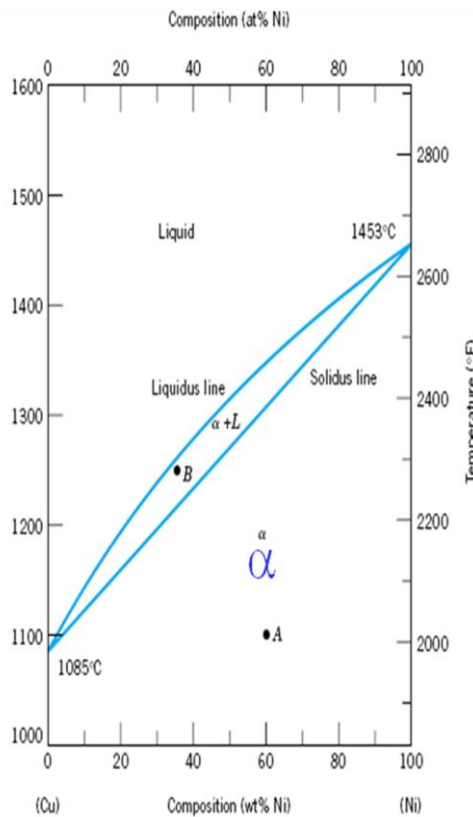
Q: Komposisi fasa ?

Tie Line Rule

Q: Jumlah Fasa ?

Lever Rule

Komposisi fasa di dalam daerah dua fasa



**Tie Line Rule**

$C_L = 31.5 \text{ wt\% Ni}$

$C_\alpha = 42.5 \text{ wt\% Ni}$

Jumlah Fasa di dalam daerah 2 fasa

Tie-Line: A lever

Komposisi paduan  $C_0$ : Fulcrum

$f_L$ : berat pd titik liquidus

$f_\alpha$ : berat pd titik solidus

Keseimbangan lengan

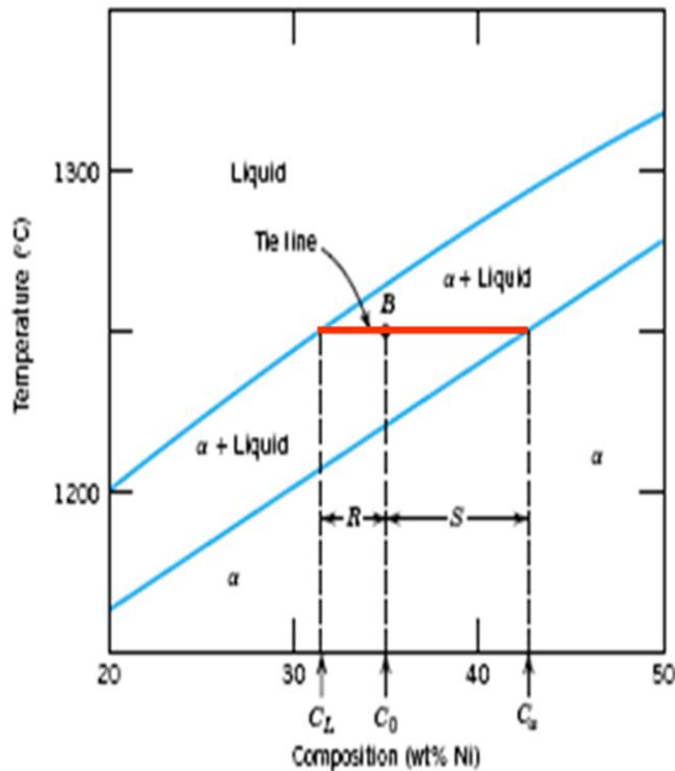
$$f_L(C_0 - C_L) + f_\alpha(C_\alpha - C_0) = 1$$

$$f_L + f_\alpha = 1$$

**Tie Lever Rule**

$$f_L = \frac{C_\alpha - C_0}{C_\alpha - C_L} = \frac{\text{opposite lever arm}}{\text{total lever arm}}$$

The Lever Rule: Pendekatan Kesetimbangan massa



$$\begin{aligned} \text{Brt paduan} &= W \\ \text{Brt } \alpha \text{ dlm paduan} &= f_{\alpha}W \\ \text{Brt L dlm paduan} &= f_LW \\ \text{Brt Ni dlm paduan} &= W C_0/100 \\ \text{Brt Ni dlm } \alpha &= f_{\alpha}WC_{\alpha}/100 \\ \text{Brt Ni dlm L} &= f_L WC_L/100 \\ \text{Brt Ni dlm paduan} \\ &= \text{Brt Ni dlm } \alpha + \text{Brt Ni dlm L} \\ C_{\alpha} f_{\alpha} + C_L f_L &= C_0 \\ f_{\alpha} + f_L &= 1 \end{aligned}$$

D. LATIHAN

1. Jelaskan apakah yang dimaksud dengan diagram fasa ?
2. Apakah guna diagram fasa dalam mempelajari ilmu bahan ?
3. Jelaskan, bagaimanakah cara pembentukan logam paduan ?
4. Gambarkan dan jelaskan diagram keseimbangan untuk dua jenis logam larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat.
5. Struktur apakah yang terbentuk pada logam paduan yang mengikuti diagram keseimbangan untuk dua jenis logam yang tidak larut secara penuh ke dalam larutan padat ?
6. Apakah yang dimaksud dengan reaksi peritectic ?
7. Apakah yang dimaksud dengan reaksi eutectic ?
8. Faktor apakah yang perlu diperhatikan dalam menentukan jenis bahan untuk pembentukan logam paduan ?
9. Faktor apakah yang menentukan phase pada perubahan struktur logam ?
10. Bagaimanakah gambar perubahan struktur yang terjadi pada logam paduan 1 dan 2 pada gambar 4.9 di atas.

## E. RANGKUMAN

Pembentukan sistem paduan merupakan metoda dalam perbaikan sifat logam sehingga berbeda dengan sifat asalnya termasuk pada baja. Proses pencampurannya dilakukan dalam keadaan terurai (cair), sehingga menghasilkan larutan unsur paduan yang homogen. sifat freecutting dari bahan paduan yang dihasilkan diperoleh dengan penambahan lead dan brass ke dalam baja paduan.

Hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan unsur sebagai bahan paduan antara lain: pengaruh unsur paduan dan prilakunya selama pematatan serta perubahan struktur selama pendinginan hingga temperatur ruangan dan struktur yang dihasilkannya.

Perubahan Struktur pada bahan paduan terdiri dari phase tunggal, serta phase campuran, dimana phase adalah bagian dari perubahan sistem kimia untuk menghasilkan paduan dengan karakter khusus bergantung pada komposisi dan temperatur pendinginannya. Phase berada selama pendinginan dan pada temperatur ruangan serta tergantung pula pada perilaku susunan unsur-unsur lainnya. Perilakunya struktur logam paduan pada temperatur ruangan dapat diklasifikasikan ke dalam : larutan padat penuh, bukan larutan padat, larutan padat terbatas dan membentuk formasi antar campuran bahan logam. Paduan dapat dikelompokkan berdasarkan prilakunya terhadap paduan lain.