



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Komposit

Material komposit merupakan perpaduan makroskopis dari sekurang-kurangnya dua komponen yang berbeda untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik dari masing-masing komponen penyusunnya. Komposit juga bisa diartikan sebagai kombinasi dua atau lebih material yang berbeda, dengan salah satu logam menjadi matriksnya. Paduan yang umum digunakan adalah keramik oksida, karbida dan nitrida, yang fungsi utamanya adalah untuk mendukung suatu komponen atau *parts* dalam menerima beban yang diberikan pada komponen tersebut. Pada saat yang sama matrik berfungsi sebagai penguatan secara keseluruhan dan untuk mendistribusikan kembali beban eksternal secara optimal ke masing-masing elemen penguat. (Edi Santoso, dkk, 2004)

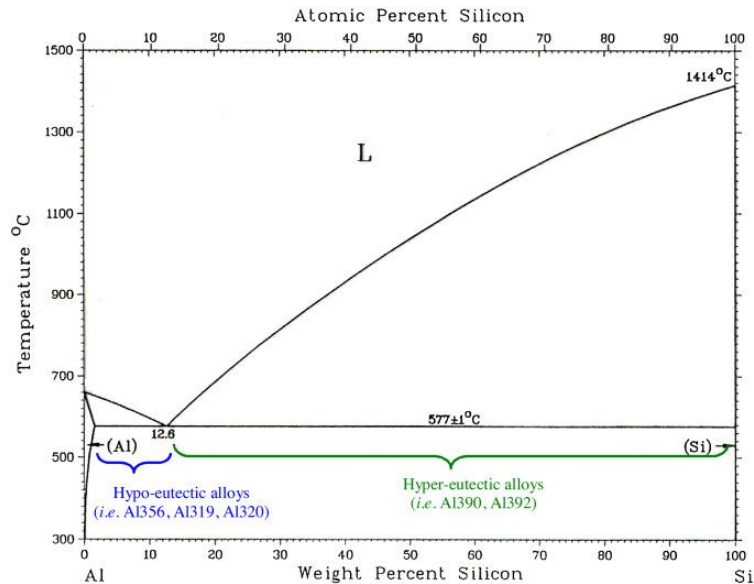
#### 2.1.1 Matrik dan Penguat

##### 2.1.1.1 Aluminium

Aluminium merupakan logam *non-ferrous* yang paling banyak digunakan, aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai unsur dan kemudian direduksi pertama kali sebagai logam oleh H.C Oersted, dan kemudian Hall dan Heroult berhasil memisahkan aluminium dan alumina, paduan aluminium mengandung 99% aluminium dan 1% mangan, besi, silikon, tembaga, magnesium, seng, krom, dan titanium. Aluminium juga memiliki sifat yang ringan sekitar 2,7 gr/cm<sup>3</sup>, kuat, ketahanan terhadap korosi yang baik, daya hantar listrik baik anti magnetis, toksifitas, kemudahan dalam proses, dan sifat dapat dipakai kembali (A. M. Simanjutak, dkk, 2013).

Aluminium silikon Alloy (seri 4xxx) merupakan jenis paduan yang banyak digunakan dalam proses pengecoran, karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan paduan aluminium lainnya. Paduan aluminium silikon memiliki tingkat fluiditas, aluminium jenis ini memiliki kemampuan ketahanan korosi yang sangat baik dan tingkat koefisien muai panas yang sangat rendah. Paduan ini dibagi menjadi tiga, yaitu :

- Paduan hipoeutektik, memiliki kandungan silikon 5-10%
- Paduan eutektik, memiliki kandungan silikon 11-13%
- Paduan hipereutektik, memiliki kandungan 14-25%



Gambar 2. 1 Diagram Fasa Al-Si  
Sumber : Sciencedirect.Com

### 2.1.1.2 Abu dasar batu bara

Abu dasar batu bara (*bottom ash*) merupakan sisa hasil proses pembakaran batu bara, yang merupakan limbah yang meningkat setiap tahunnya, sehingga diperlukan penanggulangan, karena dapat mengakibatkan dampak lingkungan berupa polusi udara. *Bottom ash* mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ) sekitar 40-60%, Aluminium oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sekitar 20-35%, peroksida ada sekitar 5-30% dan mengandung unsur tambahan lainnya yaitu magnesium oksida, titanium oksida, alkalin, sulfur trioksida, fosfor oksida dan karbon relatif lebih kecil (A. Luher Ola, dkk, 2018).

### 2.1.1.3 Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dan nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Magnesium umumnya digunakan untuk paduan seperti halnya dengan unsur lain seperti Cu, Ni, Cr, maupun Zn untuk dipadukan dengan Al-Si untuk mendapatkan material yang tangguh dan kuat, magnesium disini digunakan sebagai *wettability* partikel penguat agar matrik dapat mengikat partikel penguat (Andi Triono, dkk, 2015).

<u>Nomor atom</u>	12
<u>Konfigurasi elektron</u>	[Ne] 3s <sup>2</sup>
<u>Titik cair, K</u>	922
<u>Titik didih, K</u>	1380
<u>Rapatan (densitas), gr/cm<sup>3</sup></u>	1,74
<u>Energi ionisasi I, kJ/mol</u>	738
<u>Energi ionisasi II, kJ/mol</u>	1450
<u>Elektronegatifitas</u>	1,31
<u>Potensial reduksi standar</u>	-2,38
<u>Jari-jari atom, A</u>	1,60
<u>Kapasitas panas, J/gK</u>	1,02
<u>Potensial ionisasi, volt</u>	7,646
<u>konduktivitas kalor, W/mK</u>	156
<u>Entalpi pembentukan, kJ/mol</u>	8,95
<u>Entalpi penguapan, kJ/mol</u>	127,6

Gambar 2. 2 Tabel Sifat fisika magnesium  
Sumber : blogspot.Com

#### 2.1.1.4 Aluminium Oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Aluminium oxide digunakan sebagai penguat pada material komposit, penambahan penguat aluminium oxide bertujuan untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan dan ketahanan material komposit. Aluminium oxide merupakan salah satu jenis keramik oksida yang sangat keras.

Sifat-sifat mekanik aluminium oxide :

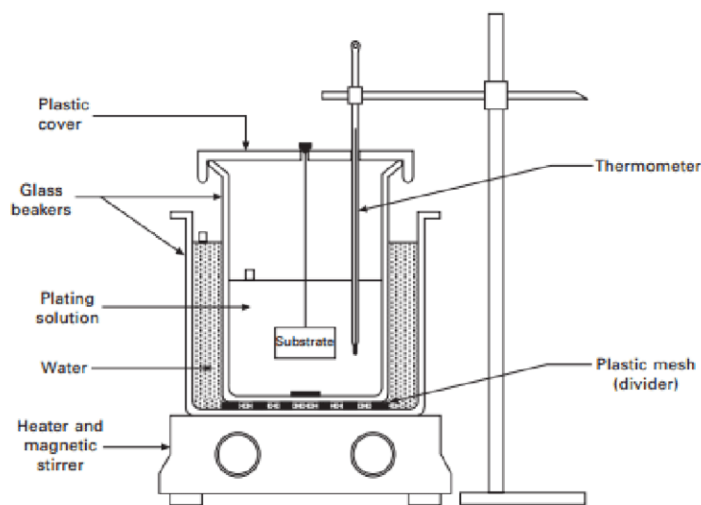
- Daya hantar panas yang baik
- Ketahanan terhadap api baik
- Tahan aus dan tahan terhadap serangan korosi
- Kekerasan tinggi

#### 2.2 Electroless Plating

*Electroless plating* adalah salah satu metode pelapisan dengan cara mendeposikan logam pada sebuah substrat dengan media larutan polar sebagai agen pereduksinya. Metode *Electroless plating* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode pelapisan yang lain, yaitu penggunaan temperatur

rendah dalam proses pelapisannya yang mengurangi terjadinya oksidasi pada substrat dan proses pelapisannya tidak bergantung pada bentuk geometri specimen substrat serta biaya yang relatif murah.

Karena tidak menggunakan bantuan arus listrik dalam pertukaran elektron, proses pelapisan yang terjadi berjalan lebih lambat, sehingga untuk mempercepat pelapisan, temperatur proses harus dinaikkan sesuai batas yang dianjurkan dengan bantuan alat pemanas. Peralatan utama pada proses pelapisan *electroless* berbeda dengan pelapisan secara *electroplating* dimana pada proses *electroless* ini tidak menggunakan arus listrik dalam prosesnya. Seperti terlihat pada (Gambar 2.3).



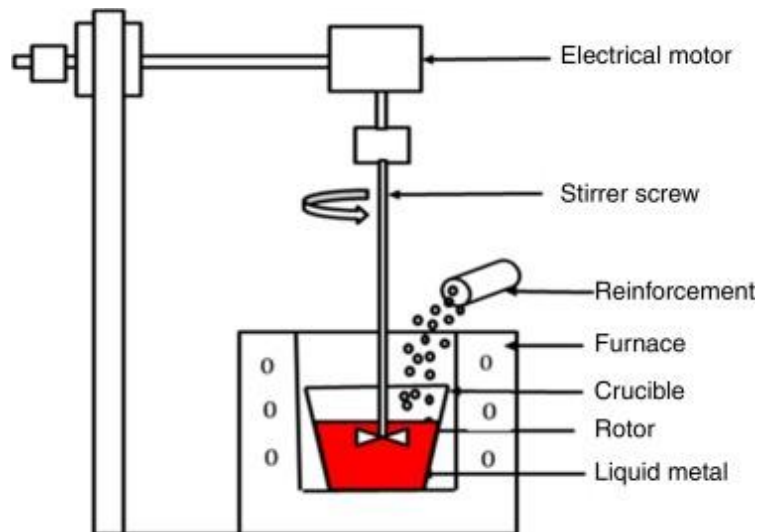
Gambar 2. 3 Skema electroless plating  
Sumber : Researchgate.net

Pengembangan pelapisan plastik melalui proses etsa (etching) pada proses *electroless* memberikan kekuatan daya lekat lapisan yang cukup baik, karena dapat membersihkan lapisan tipis dan membuat pori-pori halus sebagai tumpuhan lapisan berikutnya. Dalam pelaksanaan pelapisan plastik, pada pengerjaan pendahuluan atau persiapannya, satu sama lain prosesnya juga berbeda, karena sangat dipengaruhi oleh jenis plastik yang akan dilapisi, sehingga permukaan bahan kimia untuk larutan pencuci dan etsa juga berbeda.

### 2.3 Proses *Stir Casting*

Proses *Stir casting* merupakan salah satu pembuatan komposit dalam kondisi cair yang paling sederhana. Prinsip dari proses *stir casting* adalah penyatuan partikel

penguat ke dalam logam cair dengan pengadukan secara mekanik di atas garis *liquidus*, lalu dituangkan ke dalam cetakan. Keuntungan dari proses ini adalah mampu menggabungkan partikel penguat yang tidak dibasahi oleh logam cair. Bahan yang tidak dibasahi tersebut terdistribusi oleh adanya gaya pengadukan secara mekanik yang menyebabkan partikel penguat terperangkap dalam logam cair (G. Adi Kusumo, dkk, 2016). Skema dari proses *stir casting* dilihat pada (Gambar 2.4).



Gambar 2. 4 Skema *stir casting*  
Sumber : Researchgate.net

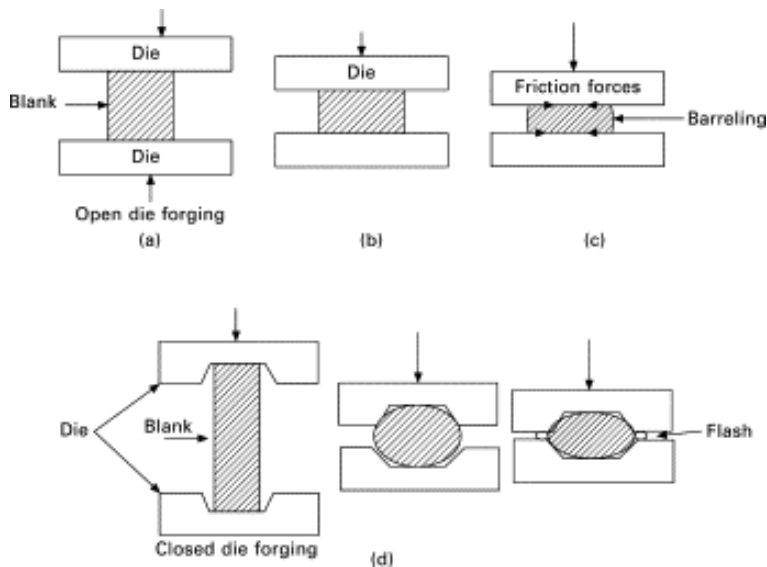
## 2.4 Homogenizing

*Homogenizing* merupakan suatu proses pemanasan pada temperatur tinggi yang bertujuan untuk menghilangkan efek segregasi kimia (tidak homogenya komposisi kimia) dan memperbaiki sifat mampu pengerjaan panas yang umum dilakukan pada ingot hasil pengecoran. Pada saat proses pengecoran sebuah billet material akan terjadi proses pembekuan yang lambat, sehingga akan timbul perbedaan komposisi kimia (*segregasi kimia*) akibat pembekuan yang lambat tersebut. Sehingga setelah produk coran (*as-cast*) selesai di cor kita perlu melakukan proses homogenisasi untuk menghilangkan efek segregasi kimia tersebut.

## 2.5 Penekanan (*Pressing*)

*Pressing* atau *forging* merupakan salah satu cara untuk mereduksi ketebalan plat logam yaitu mengubah penampang benda kerja. Proses tempa dapat dilakukan dengan pengerjaan panas (*hot working*) dan pengerjaan dingin (*cold working*). Pengepresan

dapat dilakukan dengan beberapa cara tergantung bahan yang akan dipress, ada dua buah kategori umum proses penempaan adalah penempaan terbuka dan penempaan cetakan tertutup. Penempaan cetakan terbuka dilakukan di antara dua cetakan datar atau cetakan yang bentuknya sederhana. Proses ini banyak digunakan untuk benda-benda yang besar. Seringkali penempaan terbuka digunakan untuk pembentukan awal benda kerja untuk penempaan cetakan tertutup. Pada penempaan cetakan tertutup, benda kerja dibentuk di antara dua pasang cetakan yang akan menghasilkan bentuk akhir yang diinginkan. Dalam proses deformasi di mana benda kerja ditekan di antara dua die (cetakan). Penekanan dapat dilakukan dengan tekanan kejut atau tekanan berangsur-angsur (perlahan). Proses penekanan tersebut akan menghasilkan bentuk benda kerja yang sesuai dengan apa yang diinginkan.



Gambar 2. 5 Skema *pressing*  
Sumber : Sciencedirect.Com

### 2.5.1 Pengertian *Hot Working*

Pekerjaan panas pada logam merupakan tahapan proses deformasi pada logam yang dilakukan pada kondisi temperatur dan laju regangan tertentu sehingga proses deformasi dan proses recovery terjadi secara bersamaan. Deformasi dilakukan diatas pada temperatur rekristalisasi. Pada temperatur ini, pengerasan regangan dan struktur butir yang terdeformasi akan segera tergantikan dengan struktur baru. Rekristalisasi dapat diperkirakan dengan rumus :

$$\text{Trek} = 0,4-0,5 \times T_m \text{ (}^\circ\text{K)}$$

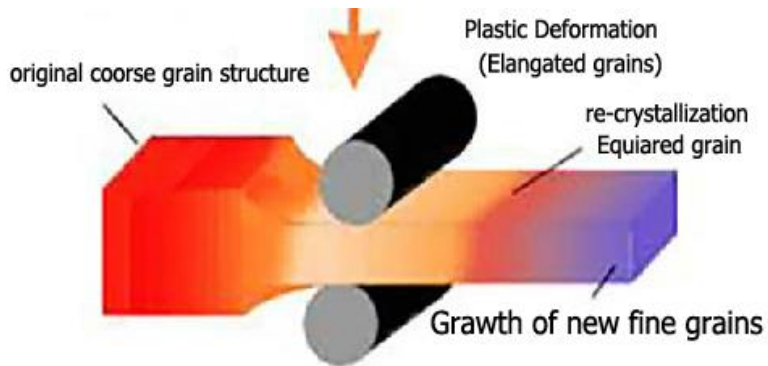
Dimana :  $T_{\text{rek}}$  = Temperatur rekristalisasi  
 $T_m$  = Temperatur lebur logam

Pada *hot working process* mengakibatkan ukuran butir semakin halus dikarenakan adanya mekanisme rekristalisasi dinamis sebuah fenomena dimana struktur butir suatu material yang mengalami transformasi dari sebuah nukleasi menjadi struktur mikro baru. (**George e. Dieter, jr. 1961**) *Hot working process* dilakukan diatas temperatur rekristalisasi yang bertujuan untuk menghaluskan butir dengan memanfaatkan mekanisme rekristalisasi. Rekristalisasi adalah suatu fenomena dimana struktur butir suatu material mengalami transformasi dari sebuah nukleasi menjadi struktur mikro baru yang halus seragam, pembentukan struktur mikro baru dengan ukuran dimensi yang sama dan pada deformasi plastis sering dilakukan pada suhu diatas suhu rekristalisasi dalam proses yang disebut *hot working*, sifat dari struktur mikro baru tersebut akan menghasilkan keuletan dan ketangguhan. Berdasarkan penelitian (**M.Y. Hasby, dkk, 2016**). Adapun beberapa keuntungan dari *hot working process* antara lain sebagai berikut :

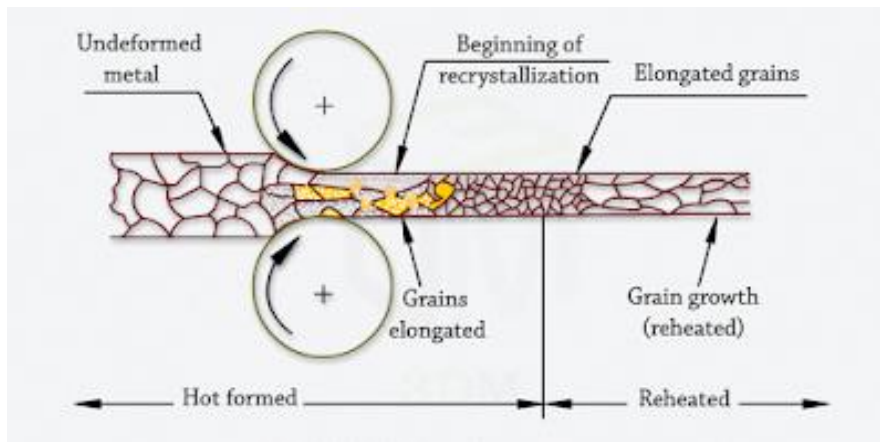
1. Energy deformasi relatif rendah
2. Mengurangi ketidakseragaman atau segregasi unsur kimia
3. Mengurangi porositas
4. Struktur butir lebih halus
5. Sifat-sifat fisis logam akan meningkat
6. Meningkatkan keuletan dan ketangguhan material

Penghaluskan butir (*grain refining*) terjadi melalui struktur butir, butir logam merupakan kumpulan sel satuan yang berorientasi sama. Polikristal memiliki butir-butir yang orientasinya berbeda satu dengan yang lain. Pada saat deformasi terjadi, dislokasi akan bergerak pada bidang slip dan berusaha mencapai permukaan luar. Oleh karena orientasi setiap butir berbeda dengan yang lain, orientasi bidang slip pada butir-butir juga berbeda-beda. Sebagai akibatnya pergerakan dislokasi akan terhambat. Butir yang semakin halus cenderung akan semakin memperbanyak batas butir. Batas butir yang banyak akan mengakibatkan gerakan dislokasi semakin sukar karena semakin banyak rintangan sehingga sifat mekanik material meningkat (**Fuad Affiz, dkk, 2012**). Berdasarkan penelitian (**Manabu Nakai, dkk, 2013**) semakin halus ukuran butir menunjukkan *ultimate tensile strenght* dan *yield strenght* meningkat. Berdasarkan penelitian (**Z.Z. Chen, dkk, 2004**) ukuran butir semakin halus mengakibatkan kekuatan kelelahan meningkat dan perlawanan *crack initiation* meningkat menyebabkan laju pertumbuhan retak menurun.

---

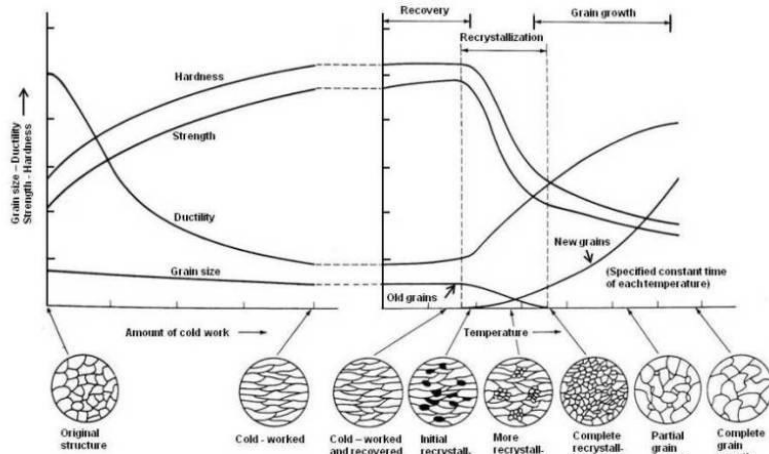


Gambar 2. 6 *Hot working process*  
Sumber : Techminy.Com



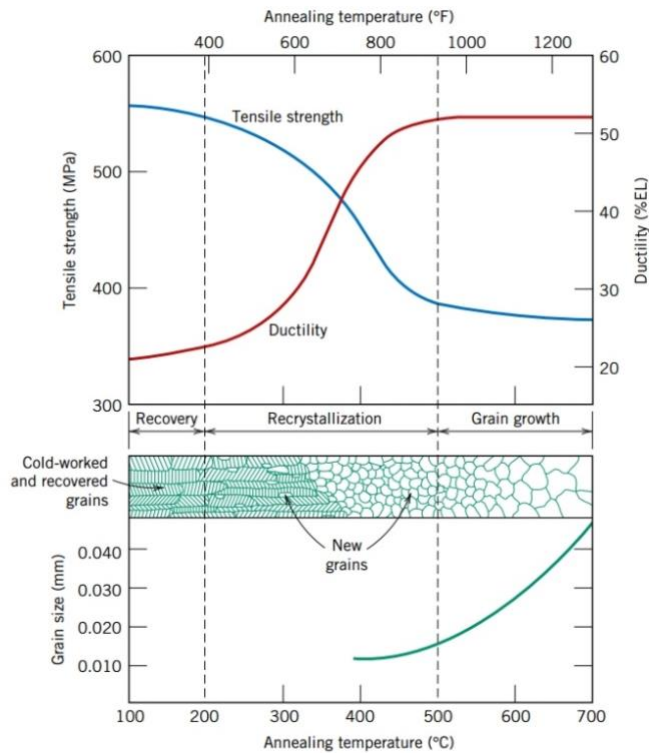
Gambar 2. 7 Mikrostruktur *hot working process*  
Sumber : Meks.in





Schematic Representation of the Cold-worked and Anneal Cycle showing the effects on Properties and Microstructure

Gambar 2. 8 Transformasi struktur mikro  
Sumber : practicalmaintenance.nrt



Gambar 2. 9 Skema *recrystallization*  
Sumber : *Materials science dan engineering*

Pada (Gambar 2.7) menunjukkan transformasi struktur mikro pada proses pembentukan *hot working process* yang bertujuan untuk menghaluskan butir dan memanfaatkan mekanisme proses rekristalisasi. Disamping itu *hot working process* dilakukan sebagai upaya untuk menghomogenisasi butiran akibat cacat inklusi hasil proses pengecoran, sifat dari transformasi struktur mikro baru tersebut akan meningkatkan sifat mekanik menghasilkan keuletan dan ketangguhan, pada umumnya semakin kecil ukuran butir maka sifat mekanik meningkat dan memperpanjang *fatigue life*. Berdasarkan penelitian (**Hao Huang, dkk, 2016**) pada proses penempaan (*forging*) *multi-directional* sifat mekanis di daerah pusat dan tepi pada temperatur 300°C, 350°C, dan 400°C menunjukkan bahwa nilai *ultimate tensile strenght* meningkat pada temperatur tinggi. Meningkatnya nilai *ultimate tensile strenght* maka umur kelelahan semakin panjang sehingga menyebabkan laju pertumbuhan retak akan semakin lambat, dikarenakan pada temperatur tinggi pada *hot working process* ukuran butir semakin halus dikarenakan adanya mekanisme rekristalisasi dinamis dan mengakibatkan sifat mekanik meningkat. Berdasarkan penelitian (**Yan Xu, dkk, 2013**) tentang *deformation behaviour and dynamic recrystallization of AZ61 magnesium alloy* pada temperatur 220, 260, 300, 340 dan 380°C. pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa fraksi volume dan ukuran butir rata-rata butiran rekristalisasi dinamis meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur.

## 2.6 Pengaruh Temperatur Benda Kerja dan Reduksi Ketebalan Terhadap Sifat Mekanik

### 2.6.1 Pengaruh Temperatur Benda Kerja Terhadap Sifat Mekanik

Salah satu cara yang harus ditempuh untuk meningkatkan sifat mekanik yang baik adalah mekanisme pembentukan yaitu pembentukan panas *hot working*. Berdasarkan dengan temperatur material pada saat deformasi proses pembentukan logam dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu : pengerjaan panas (*hot working*) dan pengerjaan dingin (*cold working*). Berdasarkan penelitian (**Hao Huang, dkk, 2016**) pada proses penempaan (*forging*) *multi-directional* sifat mekanis di daerah pusat dan tepi pada temperatur 300°C, 350°C, dan 400°C menunjukkan bahwa nilai *ultimate tensile strenght* meningkat pada temperatur tinggi. Dengan meningkatnya nilai *ultimate tensile strenght* maka umur kelelahan semakin panjang sehingga menyebabkan laju pertumbuhan retak akan semakin lambat, dikarenakan pada temperatur tinggi pada *hot working process* ukuran butir semakin halus dikarenakan adanya rekristalisasi dinamis dan mengakibatkan sifat mekanik meningkat.

Berdasarkan penelitian (**Tung Chen Cheng, dkk, 2018**) menunjukkan pada temperatur tinggi menyebabkan penurunan ukuran butir dan meningkatkan *ultimate tensile strength* 276,05 Mpa. Berdasarkan penelitian (**Yan Xu, dkk, 2013**) tentang *deformation behaviour and dynamic recrystallization of AZ61 magnesium alloy* pada temperatur 220, 260, 300, 340 dan 380°C. pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa fraksi volume dan ukuran butir rata-rata butiran rekristalisasi dinamis meningkat. Berdasarkan penelitian (**Yuna Wu, dkk, 2019**) tentang *Dynamic precipitation and recrystallization in Al-12.5 wt%Si-0.6 wt% Mg-0.1 wt%Ti alloy during hot-rolling and their impacts on mechanical properties*. Menunjukkan pada temperatur tinggi sifat mekanik meningkat pada temperatur 540 °C menunjukkan *ultimate tensile strength* 243,8 Mpa dikarenakan adanya rekristalisasi dinamis pada material dan membuat butir semakin halus dan membentuk struktur butir baru pada temperatur tinggi yang pada dasarnya akan menyebabkan umur *fatigue life* semakin panjang dan laju pertumbuhan retak semakin lambat.

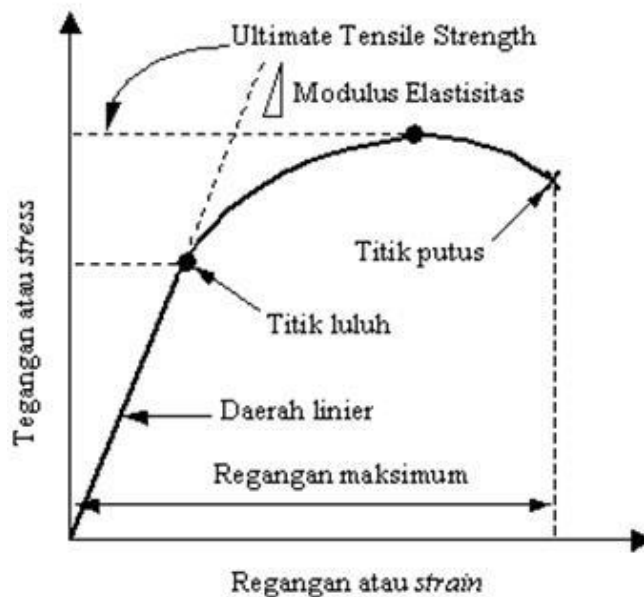
### 2.6.2 Pengaruh Reduksi Ketebalan Terhadap Sifat Mekanik

Pengaruh reduksi ketebalan terhadap sifat mekanik bergantung pada saat proses pembentukan dengan pengerjaan dingin yang dilakukan di bawah temperatur rekristalisasi mengakibatkan adanya *work hardening*. Berdasarkan penelitian penelitian (**Lixin Zhang, dkk, 2017**) reduksi ketebalan berpengaruh terhadap sifat mekanik di kisaran reduksi 30% memiliki nilai *Yield Strength* 101,47 Mpa, meningkat di reduksi 50% pada proses *hot rolling* dengan nilai *Yield Strength* 140,65 Mpa. Saat material tereduksi butir akan memanjang ketika di berikan deformasi pada sebuah material saat material direduksi dengan proses pengerjaan panas maka struktur butir akan menjadi halus. Berdasarkan penelitian (**Haijie Xu, dkk, 2020**) dengan reduksi 12% 24% 32% 40% menunjukkan perbedaan yang signifikan antara reduksi yang berbeda. Dengan demikian semakin tinggi reduksi menyebabkan ukuran butir semakin halus. Berdasarkan penelitian (**S. Wang, B.X. Liu, dkk, 2018**) pada proses reduksi 20% 40% 70% 90% pada *hot working process* menunjukkan semakin tinggi reduksi menyebabkan ukuran butir semakin halus. terdapat banyak dislokasi dan potensi cacat pada material pada proses penekanan terutama pada reduksi tinggi terdapat *interfacial pores* dan retak kecil dengan meningkatnya reduksi. Pada reduksi 70% terdapat retakan *intergranular* yang dapat mengakibatkan ketahanan lelah menurun yang mengakibatkan laju pertumbuhan retak meningkat.

### 2.7 Uji Tarik

Pengujian tarik memiliki tujuan untuk mengetahui kekuatan tarik bahan uji. Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik, bila kita terus menarik suatu

bahan sampai putus kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap berupa kurva. Kurva ini menunjukkan hubungan antara tegangan dengan regangan. Perubahan panjang dalam kurva disebut sebagai regangan teknik, yang didefinisikan sebagai perubahan panjang yang terjadi akibat perubahan statik ( $\Delta L$ ) terhadap panjang batang mula-mula ( $L_0$ ). Tegangan yang dihasilkan pada proses ini disebut dengan tegangan teknik, dimana didefinisikan sebagai nilai pembebanan yang terjadi ( $F$ ) pada suatu luas penampang awal ( $A_0$ ).



Gambar 2. 10 Kurva tegangan regangan  
Sumber : Fuad Affiz, 2012

Tegangan normal tersebut akibat gaya tarik dapat ditentukan berdasarkan persamaan (1).

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan tarik (Mpa)

$F$  = Gaya tarik (N)

$A_0$  = Luas penampang spesimen mula-mula ( $\text{mm}^2$ )

Regangan akibat beban tekan statik dapat ditentukan berdasarkan persamaan (2)



$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :  $\Delta L = L - L_0$

$\Delta L$  = Perubahan panjang yang terjadi (mm)

$L$  = Perubahan panjang spesimen saat menerima beban (mm)

$L_0$  = Panjang spesimen mula-mula (mm)

Pada prakteknya nilai hasil pengukuran tegangan pada suatu pengujian tarik pada umumnya merupakan nilai teknik. Regangan akibat gaya tarik yang terjadi, panjang akan menjadi bertambah dan diameter pada spesimen akan menjadi kecil, maka ini akan terjadi deformasi plastis. Hubungan antara stress dan strain dirumuskan pada persamaan (3)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(3)$$

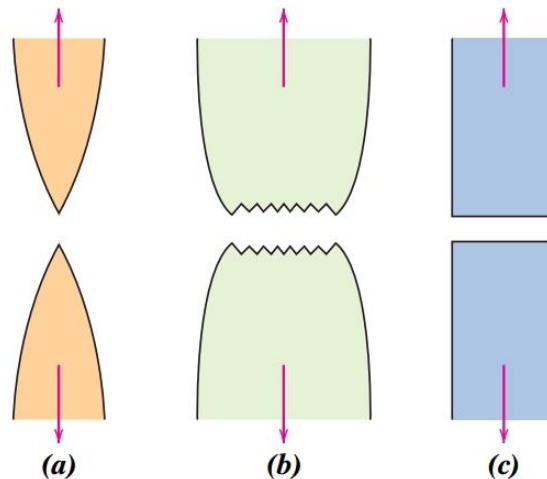
Dimana E adalah gradien kurva dalam daerah linier, di mana perbandingan tegangan ( $\sigma$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) selalu tetap. E diberi nama "Modulus Elastisitas" atau "Young Modulus". Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini kerap disingkat kurva SS (Fuad Affiz, dkk, 2012)

### 2.8 Fatik (*fatigue*)

*Fatigue* atau kelelahan material adalah kerusakan material yang diakibatkan oleh adanya tegangan yang berfluktuasi yang besarnya lebih kecil dari tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) atau tegangan luluh (*yield strength*) material yang diberi beban konstan. Terdapat tiga fase dalam perpatahan fatik yaitu :

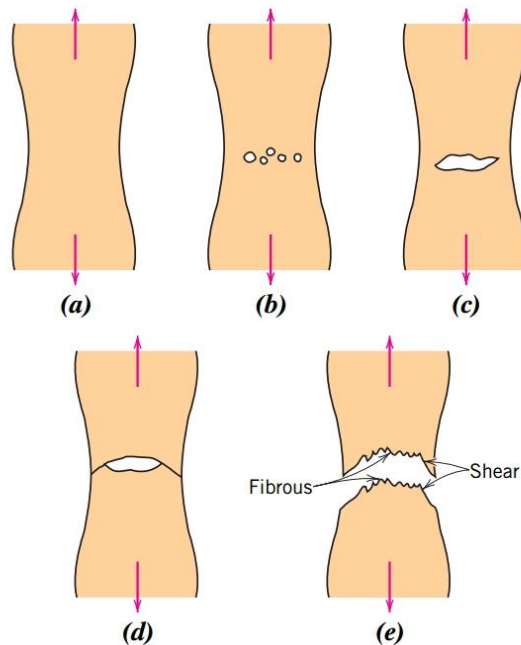
1. Permulaan retak (*crack initiation*)  
Mekanisme fatik umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi pada permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan (seperti goresan, *notch*, lekukan dan lubang dll) akibat adanya pembebanan yang berulang.
2. Perambatan retak (*crack propogation*)  
Jumlah total siklus yang menyebabkan kegagalan *fractue* merupakan penjumlahan jumlah siklus yang menyebabkan retakan awal dan fase perambatannya. *Crack initiation* ini berkembang menjadi *microcracks* perambatan atau perpaduan, *microcracks* ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*.
3. Perpatahan akhir (*fracture*)

Perpatahan terjadi ketika material telah mengalami siklus tegangan dan regangan yang menghasilkan kerusakan yang permanen. Ketika terjadi perambatan retak, penampang pada bagian tersebut akan berkurang sampai pada kondisi dimana penampang pada bagian tersebut tidak mampu menahan beban yang terakhir kali. Pada tahap ini perambatan retak yang terjadi sangat cepat sehingga spesimen akan terpisah menjadi dua (**Bambang Pratowo, dkk, 2016**). Fasa perpatahan logam tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 11 Skema perpatahan  
Sumber : *Materials science dan engineering*

Dari gambar 2.11 menunjukkan (a) perpatahan sangat ulet dimana spesimen leher ke titik (b) perpatahan cukup ulet setelah beberapa necking (c) perpatahan rapuh tanpa deformasi plastik



Gambar 2. 12 Skema perpatahan  
Sumber : *Materials science dan engineering*

Dari gambar 2.12 menunjukkan perpatahan ulet (a) necking awal (b) pembentukan rongga kecil (c) penyatuan rongga-rongga untuk membentuk suatu retakan (d) propogasi retak (e) perpatahan geser akhir  $45^\circ$

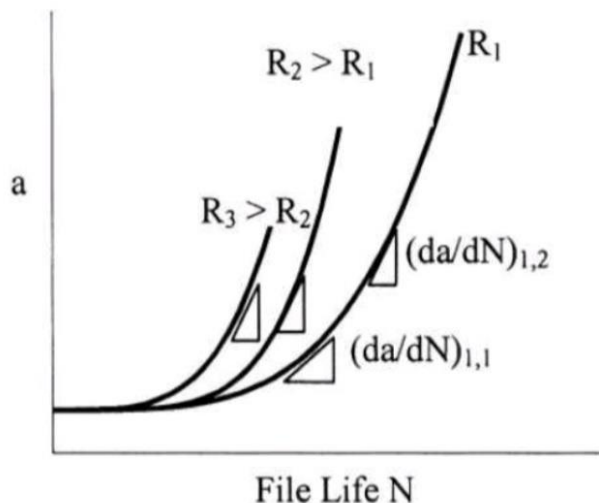
Faktor-faktor yang mempengaruhi atau cenderung mengubah kondisi kelelahan pada material yaitu :

1. Faktor kelembapan lingkungan yaitu kelembapan lingkungan tinggi membuat pit korosi dan retak pada permukaan spesimen yang akan mengakibatkan lebih cepat terjadinya kegagalan (*failure*)
2. Faktor suhu sangat mempengaruhi kekuatan lelah karena suhu menaikkan konduktifitas elektrolit lingkungan dan dapat mempercepat proses oksidasi
3. Tipe pembebanan yaitu dimana tipe pembebanan lentur putus dan pembebanan aksial mempunyai kekuatan lelah yang sangat berbeda
4. Faktor komposisi kimia spesimen uji dengan pemilihan bahan mempengaruhi kelelahan material
5. Tipe material *fatigue life* setiap material berbeda beda

6. Tegangan sisa yang mungkin timbul saat pembuatan spesimen seperti pengelasan, pemotongan dan proses lainnya yang melibatkan panas atau deformasi dapat membentuk tegangan sisa yang dapat menurunkan ketahanan *fatigue*
7. Kualitas permukaan kekasaran permukaan dapat menyebabkan konsentrasi tegangan yang menurunkan ketahanan *fatigue*
8. ukuran butir pada umumnya semakin kecil ukuran butir maka akan menyebabkan ketahanan lelah meningkat.

## 2.9 Perambatan Retak Fatik

Perambatan retak adalah tahapan kedua dari fase dalam perpatahan fatik. Dalam tahapan ini retak tumbuh dan menjalar hingga mencapai batas kritis (*critical size*). Perilaku perambatan retak pada material dapat disajikan dengan skema kurva perambatan retak.



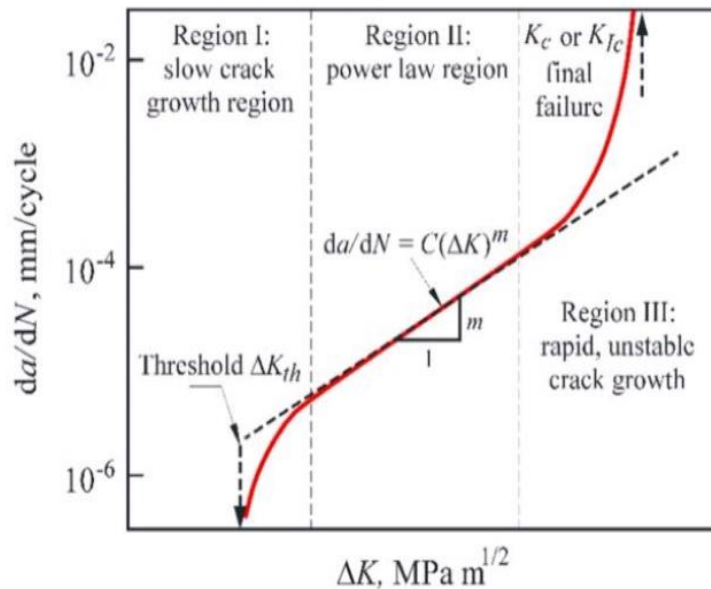
Gambar 2. 13 Skema kurva perambatan retak  
Sumber : Nestor Perez, 2004

Dari (Gambar 2.13) menunjukkan secara skematis tiga spesimen yang dikenai tegangan berbeda pada pengujian fatik,  $R_3 > R_2 > R_1$ . Dapat disimpulkan bahwa suatu material yang dibebani siklik dengan level tegangan yang lebih tinggi akan mengalami



kegagalan dengan jumlah siklus yang lebih sedikit dibandingkan dengan material yang diberikan beban tegangan yang lebih kecil.

Perambatan retak terjadi dalam 3 fase yaitu pertumbuhan retak tanpa pembebanan, pertumbuhan retak stabil, dan pertumbuhan retak tidak stabil. Pertumbuhan retak lelah ditentukan oleh dua parameter  $\Delta K$  dan  $K_{max}$ . Pada awalnya, perambatan retak terjadi dalam waktu yang lama dalam kondisi operasi normal. Perambatan retak akibat tegangan dan regangan disekitar ujung retak, ditunjukkan dengan parameter *stress intensity factor* ( $K$ ), yang merupakan fungsi dari tegangan, geometri dan dimensi retak (Abi L Hakim, dkk, 2012).



Gambar 2. 14 Kurva tahapan perambatan retak  
Sumber : Abi L Hakim, 2012

Dari (Gambar 2.14) menunjukkan kurva tersebut dapat dibagi menjadi tiga daerah. Daerah I menunjukkan perambatan retak pada daerah ini menunjukkan karakteristik “*fatigue treshold*” yang merupakan fluktuasi kenaikan nilai *stress intensity factor* dengan parameter  $\Delta K_{th}$ . Nilai  $\Delta K$  harus lebih besar dari  $\Delta K_{th}$  untuk memungkinkan terjadinya perambatan retak. Daerah III merupakan perambatan retak yang sangat



cepat sehingga perambatan retak sulit untuk diamati dimana faktor intensitas tegangannya diatas harga faktor intensitas kritis, sehingga daerah ini tidak begitu penting dalam pengamatan situasi fatik. Daerah II merupakan daerah terpenting dimana daerah ini menunjukkan hubungan linier antara laju perambatan retak dan selisih faktor intensitas tegangan yang berkerja. Dari konsep *fracture mechanics*, laju perambatan retak dinyatakan dengan  $da/dN$  yang merupakan fungsi dari sifat material, panjang retak dan tegangan operasi. Berikut adalah persamaan paris yaitu :

$$da/dN = C (\Delta K)^m \dots\dots\dots(4)$$

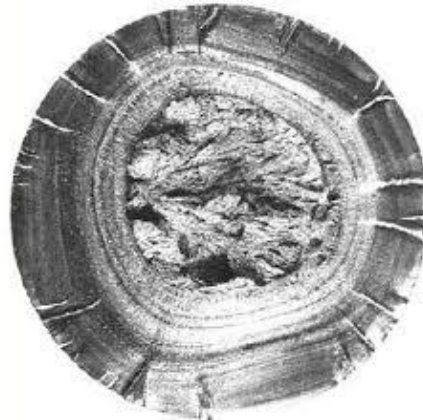
Dimana :

- $da/dN$  = Laju pertumbuhan retak
- C dan m = Konstanta material
- $\Delta K$  = Selisih faktor intensitas tegangan

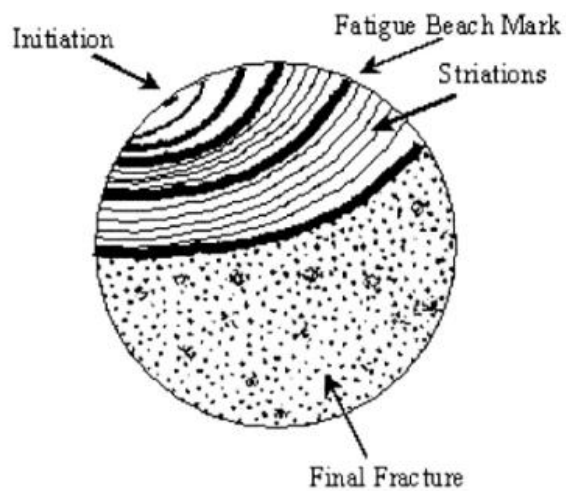
Apabila beban yang berkerja merupakan suatu bahan yang berulang maka pada bagian ujung retak faktor intensitasnya akan bervariasi antara  $K_{max}$  dan  $K_{min}$  yang merupakan bagian batas bawah dan bagian batas atas intensitas tegangan pada ujung retakan. Karena  $\Delta K = K_{max} - K_{min}$  dan  $R = S_{min}/S_{max}$  maka dapat dikatakan laju perambatan retak merupakan fungsi dari  $\Delta K$  dan R

### 2.10 Mekanisme Perambatan Retak

Perpatahan adalah pemisahan atau pemisahan material menjadi dua bagian atau lebih disebabkan adanya tegangan. Proses perpatahan terdiri atas dua tahap, yaitu timbulnya retak dan tahap penjaralan retak. Tahap awal pembentukan retak umumnya membutuhkan jumlah siklus yang cukup besar. Perambatan retak yang terjadi pada tahap ini sangat lambat. Mekanisme penjaralan retak fatik dapat dijelaskan pada Gambar 2.15 dan Gambar 2.16 sebagai berikut.



Gambar 2. 15 Makrostruktur perambatan retak  
Sumber : Blog.ub.ac.id



Gambar 2. 16 Makrostruktur Mekanisme retak  
Sumber : *Fracture Mechanics*

Mekanisme keagalann perambatan retak fatik ditunjukkan oleh aspek-aspek sebagai berikut (Dieter, 1986)



1. Sisi awal retakan jelas (*initiation*)
2. Adanya perambatan retak ditunjukkan oleh beach mark
3. Daerah patah akhir jelas (*final fracture*)

Retakan awal (*initiation*) terjadi pada bagian terluar dari spesimen, yang menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan yang tinggi di ujung retak akibat pembebanan, yang akan merambat seiring dengan bertambahnya siklus pembebanan. Perambatan retak ditandai dengan tanda garis-garis pantai (beach mark). (**Nestor Perez. 2004**)