

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Wahyutama dkk (2015), menyatakan semakin besar Sudut *shot peening* dan diameter *ball* mempengaruhi nilai kekerasan pada permukaan AISI 316L *Stainless Steel*. Sudut 60° dengan diameter *ball* 4 mm memiliki nilai kekerasan yang tinggi yaitu 674.22 VHN sedangkan nilai kekerasan sudut 30° dengan diameter *ball* 2 mm adalah yang terendah 526.10 VHN.

Azar, dkk. (2010), Menyatakan bahwa meningkatnya ketahanan lelah dan kekerasan permukaan pada material hasil *shot peening*. Dengan meningkatnya waktu *Shot peening* meningkat juga ketahan korosinya disebabkan tingkat densitas permukaan korosi berkurang.

Sanjurjo dkk (2010) dalam penelitiannya menjelaskan tentang permukaan logam yang di *peening* dengan tujuan untuk menghasilkan deformasi plastis pada yang dapat meningkatkan ketahanan *fatigue* secara drastis. Hasil yang disampaikan adalah bahwa *shot peening* dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan fatigue material konstruksi dan *shot peening* akan sangat efektif apabila digunakan pada permukaan material yang kasar.

Kyun, dkk (2012), Pada penelitiannya menjelaskan hasil yang didapat pada penelitiannya kekerasan permukaan berubah dari 65 HV menjadi 140 HV selama 3 menit dengan tekanan shoot *peening* 0.3 MPa.

Ismanhadi, Mohammad (2013) menyampaikan Jenis media pendingin yang bervariasi mempengaruhi perubahan austenit menjadi martensit. Struktur mikro yang terbentuk pada baja mangan hadfield yang mengalami proses hardening tampak butir-butir kristal yang seluruhnya martensit, sedangkan pada baja mangan hadfield yang tanpa mendapatkan perlakuan tampak karbida mangan lamellar dengan matriks austenit.

2.2 Baja Tahan Karat (*Stainless steel*)

Baja tahan karat atau *stainless steel* adalah baja paduan yang mengandung unsur *Chromium* (Cr) lebih dari 10,5 %. Unsur *Chromium* ini yang memberikan karakteristik dari

Stainless steel. *Stainless steel* tahan terhadap pengaruh oksigen dan memiliki lapisan oksida yang stabil dengan pembentukan lapisan *kromium oksida* (Cr_2O_3). Lapisan tersebut bertahan dari pengaruh oksidasi dan membentuk kembali jika lapisan tersebut rusak dengan kehadiran oksigen. Unsur-unsur lain ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifat *stainless steel* antara lain ditambahkan *nikel, tembaga, titanium, aluminium, silicon, niobium, nitrogen, dan sulfur*.

Stainless steel dibagi lima jenis berdasarkan proses pembentukannya yaitu: *Stainless steel martensitik, feritik, austenitic, duplex*.

AISI 316L *Stainless steel* sudah secara luas digunakan pada dunia rekayasa material (*material engineering*). Pada dunia industri seperti petrokimia, pembangkit tenaga nuklir, dan *bio-medical*. Pada stainless tipe 316L mempunyai kandungan karbon yang rendah sehingga memiliki nilai ketahanan korosi, kekuatan tarik yang tinggi, akan tetapi memiliki ketahanan leleh yang rendah, Lo,dkk (2009).

Tabel 2.1 Sifat Fisik *Stainless Steel*

| AISI number | Young's Modulus, In millions of psi | Shear Modulus, In millions of psi | Melting range °F | Thermal Conductivity, BTU/hr/sq-ft/°F | Coefficient of Thermal expansion, °F | Specific Heat, BTU/lb/°F |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 301, 302, 303, 308 | 28 | 12.5 | 2550-2590 | 10 | 10×10^{-6} | 0.12 |
| 302B, 304, 305 | 28 | 12.5 | 2556-2650 | 10 | 10×10^{-6} | 0.12 |
| 309 | 29 | 12.5 | 2550-2650 | 8 | 9×10^{-6} | 0.12 |
| 310 | 30 | 12.5 | 2550 | 8 | 9×10^{-6} | 0.12 |
| 314 | 29 | 12.5 | 2500-2550 | 10 | 8×10^{-6} | 0.12 |
| 316, 317 | 28 | 12.5 | 2550-2600 | 9 | 9×10^{-6} | 0.12 |
| 321, 347 | 28 | 12.5 | 2700-2790 | 9 | 10×10^{-6} | 0.12 |
| 403, 405, 410 | 29 | 12.0 | 2700-2790 | 14 | 6×10^{-6} | 0.11 |
| 416, 420 | 29 | 12.0 | 2700-2790 | 14 | 5.5×10^{-6} | 0.11 |
| 440A, B, C | 29 | 12.0 | 2500-2750 | 14 | 5.5×10^{-6} | 0.11 |
| 501, 502 | 29 | 12.0 | 2700-2800 | 21 | 6.5×10^{-6} | 0.11 |

Sumber: Earl R. Parker (1967)

Tabel 2.2 Sifat Mekanik *Stainless Steel*

| AISI number | Condition | Tensile Strength, (1000 psi) | 0.2% yield Strength (1000 psi) | Elongation % 2 in | % Reduction Area | Hardness | |
|-------------|-----------|------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|----------|---------|
| | | | | | | Rockwell | Brinell |
| 304 | Annealed | 85 | 35 | 55 | 65 | B80 | 150 |
| 304L | Annealed | 80 | 30 | 55 | 65 | B76 | 140 |
| 305 | Annealed | 85 | 37 | 55 | 70 | B82 | 156 |
| 308 | Annealed | 85 | 35 | 55 | 65 | B80 | 150 |
| 309, 309S | Annealed | 90 | 40 | 45 | 65 | B85 | 165 |
| 310, 310S | Annealed | 95 | 40 | 45 | 65 | B87 | 170 |
| 314 | Annealed | 100 | 50 | 45 | 60 | B87 | 170 |
| 316 | Annealed | 85 | 35 | 55 | 70 | B80 | 150 |
| 316L | Annealed | 78 | 30 | 55 | 65 | B76 | 145 |
| 317 | Annealed | 90 | 40 | 50 | 55 | B85 | 160 |
| 321 | Annealed | 87 | 35 | 55 | 65 | B80 | 160 |
| 347, 348 | Annealed | 92 | 35 | 50 | 65 | B84 | 160 |

Sumber: ASTM A240 (2003)

2.3 Klasifikasi Baja Tahan Karat (*Stainless steel*)

1. Baja Tahan Karat Martensitik (*Martensitic Stainless steel*)

Baja tahan karat martensitik mengandung kromium 11,5% sampai dengan 18 %. Kadar karbon dalam baja tahan karat ini relatif tinggi, yaitu antara 0,12% sampai 1,20 %. Proses perlakuan panas, atau *heat treatment* diterapkan dengan cara memanaskan baja sampai temperatur *austenit*, kemudian didinginkan dengan cepat ke dalam media air. Selama proses pendinginan, *austenit* akan bertransformasi menjadi *martensit*. Fasa *martensit* ini, membuat baja tahan karat menjadi sangat rapuh, untuk itu, agar dapat memperoleh keuletannya dilakukan proses pemanasan temper. Agar diperoleh daya tahan terhadap serangan korosi atau ketahanan korosi yang tinggi, maka saat pembuatan baja tersebut ditambahkan unsur Nikel dan Cr. Baja tahan karat ini termasuk baja yang relatif sulit dilakukan pemesinan jika dibandingkan dengan baja karbon pada umumnya. Untuk dapat meningkatkan kemampuan mesinnya, biasanya ditambahkan fosfor dan belerang dalam jumlah yang terbatas. Untuk mendapatkan kinerja proses pemesinan yang lebih baik lagi, pada baja ini ditambahkan unsur *selenium*, Se. Sedangkan untuk mendapatkan nilai kekerasan yang optimum, ditambahkan unsur karbon sesuai

dengan kekerasan yang diinginkan. Pada *Stainless steel Martensitik* diklasifikasikan menjadi beberapa tipe antara lain:

a. Tipe 410

Memiliki kandungan *chromium* sebesar 13% dan *Carbon* 0,15 %. Tipe ini paling banyak digunakan dalam pengerjaan dingin

b. Tipe 416

Memiliki kandungan *chromium* sebesar 13% dan *Carbon* 0.15% dan sulphur

c. Tipe 431

Memiliki kandungan yang *chromium* sebesar 17,5%, nikel 2,5% dan maksimum kandungan *Carbon* 0,15%

2. Baja Tahan Karat Feritik (*Feritic Stainless steels*)

Baja Tahan Karat Feritik mempunyai unsur paduan kromium antara 12% hingga 30 %. Untuk kadar karbonnya relatif rendah. Baja ini umumnya tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas, tapi mampu dikeraskan dengan metode pengerjaan dingin. Pada suhu rendah atau ruang, baja ini membentuk larutan padat Cr-Fe- α dengan struktur Kristal BCC. Baja tahan karat feritik mengandung unsur nikel kurang daripada 0,5 % atau bahkan tidak ditambahkan. Diketahui bahwa nikel sebagai unsur penstabil austenite yang kuat. Sehingga dengan kandungan Nikel rendah ini, strukturnya lebih stabil dalam ferit. Kandungan karbon yang terkandung dalam baja ini sebagian besar membentuk endapan kromium karbida. Pembentukan karbida ini tidak mengurangi ketahanan korosi bajanya, mengingat kandungan kromium yang terlarut dalam Fe- α masih cukup tinggi. Baja tahan karat Austenite memiliki ketahanan korosi temperatur ruang yang lebih baik dari pada martensitik, terlebih pada *stress corrosion cracking*, SCC. Unsur kromium yang terkandung berperan sebagai unsur paduan dengan sifat dasar sebagai penstabil ferit sehingga luas daerah fasa ferit menjadi lebih luas dan daerah Austenite menjadi lebih sempit. *Stainless steel* Feritik diklasifikasikan menjadi beberapa tipe antara lain:

a. Tipe 430

Mempunyai kandungan *Chromium* sebesar 17%, dan kandungan *Carbon* yang rendah 0,12%. Tahan hingga suhu 800°C

b. Type 405

Memiliki kromium rendah dan menambahkan aluminium untuk mencegah pengerasan ketika didinginkan dari tinggi suhu . Aplikasi yang umum termasuk penukar panas .

c. Type 409

Berisi kadar krom terendah dari semua baja tahan karat dan juga yang paling mahal. Awalnya dirancang untuk muffler stock dan juga digunakan untuk bagian eksterior lingkungan yang tidak kritis korosifnya.

3. Baja Tahan Karat *Duplex (Duplex Stainless steels)*

Baja tahan karat *duplex* merupakan baja dengan paduan nikel, chromium, dan *molybdenum* yang memiliki campuran (*duplex*) struktur mikro dengan persentase *ferrite* dan *austenite* hampir sama (keduanya sekitar 50%). Sifat tahan karat dari baja tahan karat *duplex* ini mirip dengan baja tahan karat *austenitic*. Baja tahan karat *duplex* ini memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada baja tahan karat *austenitic*. Selain itu, baja tahan karat *duplex* ini juga memiliki ketahanan retak akibat karat yang lebih baik daripada baja tahan karat *austenitic*. Sifat lain dari baja tahan karat *duplex* antara lain lebih ulet serta memiliki sifat mampu bentuk dan mampu las yang lebih baik.

Baja tahan karat *duplex* ini memiliki perpaduan antara bcc *ferrite* dan fcc *austenite*. Unsur utama pada baja tahan karat jenis ini adalah nikel dan chromium, tapi *nitrogen*, *molybdenum*, tembaga, silikon, dan tungsten dapat ditambahkan untuk mengatur agar strukturnya seimbang dan menguatkan ketahanan korosinya. Meskipun begitu, baja tahan karat *duplex* memiliki kelenturan dan kekuatan luluh yang tinggi serta ketahanannya akan retak (*crack*) lebih baik yang disebabkan tegangan-korosi dibandingkan jenis austenitik. Nilai kekerasan dari baja tahan karat ini di antara baja tahan karat austenitik dan feritik. Pada *stainless steel duplex* diklasifikasikan berbagai tipe antara lain:

a. UNS S31803

Merupakan tipe kelas *duplex* yang paling banyak digunakan. Mengandung unsur *Carbon* 0.03%, *Chromium* 22%, *Nickel* 5,5% dan 0,15% *Nitrogen*

b. UNS S32750

Tipe *duplex* ini mempunyai sifat mekanik yang sama dengan tipe 316 tetapi memiliki dua kali kekuatan tarikannya. Unsur yang terkandung pada tipe ini adalah *Carbon* 0,03%, *Chromium* 23%, *Nickel* 4% dan *Nitrogen* 0,1%

4. Baja Tahan Karat Austenitik (*Austenitic Stainless steels*)

Baja tahan karat austenitik terbentuk pada larutan padat Fe-Cr ditambah dengan unsur untuk menstabilkan *austenite* seperti nikel atau mangan. Kedua unsur ini berfungsi sebagai unsur penstabil *austenite* dan menambah luas daerah fasa *Austenite* serta mempersempit daerah ferit. Pada paduan Fe-Cr ditambahkan nikel dengan kadar 8 %, maka akan terbentuk struktur atau fasa *austenite* yang stabil pada suhu ruang.

Selain nikel, penambahan mangan dan nitrogen dalam jumlah yang cukup akan membentuk matrik dengan struktur *austenite* yang stabil pada berbagai temperatur. Paduan baja tahan karat ini bersifat *feromagnetik* dan tidak dapat dilaku-panas. Baja tahan karat ini memiliki keuletan yang baik dengan kekuatan luluh yang rendah.

Baja tahan karat ini dapat ditingkatkan kekuatannya dengan melakukan proses pengerjaan dingin atau bias juga dengan menambah unsur paduan tertentu yang dapat meningkatkan kekuatannya. Pada *Stainless steel Austenitic* diklasifikasikan :

a. Tipe 304

Tipe ini dibuat dengan kandungan *carbon* rendah sebesar 0.08% dan *chromium* sebesar 18 hingga 20 % dengan tambahan unsur mangan dan nikel, sehingga sangat baik pada lingkungan dengan kelembapan tinggi

b. Tipe 321

Merupakan variasi perkembangan dari tipe 304 namun dengan penambahan unsur titanium sehingga baik dalam pengerjaan dengan suhu tinggi

c. Tipe 347

Merupakan variasi perkembangan dari tipe 304 namun dengan penambahan unsur *niobium* sehingga memiliki kekerasan yang lebih tinggi.

d. Tipe 316

Tipe ini ada penambahan unsur molibdenum 2-3% memberikan pertambahan perlindungan terhadap korosi air laut dan penambahan unsur *Nickel* 12% agar tetap mempertahankan struktur *Austenitic*nya.

e. Tipe L grade

Tipe-tipe 316L, 317L 304L, xxL (Low Carbon Steel). Pada tipe-tipe ini dibatasi memiliki kandungan unsur *Carbon* yang rendah. Hal tersebut mengurangi kekuatan fisik dan mekanik akan tetapi memiliki sifat tahan korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tipe lain.

Tabel 2.3 Komposisi Stainless Steel

| UNS No. | Designation | | Chemical composition % by mass max unless stated | | | | | | | | |
|--------------|-------------|---------|--|------|------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| | SAE No | AISI No | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Others |
| S304000 | 30304 | 304 | 0.08 | 1.00 | 2.00 | 0.045 | 0.030 | 18.0/ | | 8.0/ | |
| A276 for bar | | | | | | | | 20.0 | | 11.0 | |
| S31603 | 30316L | 316L | 0.03 | 0.75 | 2.00 | 0.045 | 0.030 | 16.0/ | 2.00/ | 10.0 | N 0.10 |
| | | | | | | | | 16.0/ | 3.00 | 14.0 | |

Sumber: ASTM and SAE-AMS Standards and Specification for Stainless Steel (2003)

2.4 Hot Working dan Cold Working

2.4.1 Hot Working

Hot working merupakan proses deformasi plastis dari logam yang dilakukan pada temperature diatas suhu rekristalisasi. Dibawah pengaruh panas dan gaya, ketika atom pada logam mencapai tingkat energi yang lebih tinggi, kristal-kristal baru mulai terbentuk. Proses tersebut adalah rekristalisasi. Ketika proses tersebut terjadi, struktur butiran yang lama yang telah terdeformasi oleh proses *mechanical working* sebelumnya sudah tidak ada, sebagai gantinya Kristal-kristal baru mulai terbentuk.

Dalam *hot working*, temperatur pada pengerjaan yang telah selesai masih terdapat sisa panas pada material yang dapat meningkatkan pertumbuhan butir untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik material.

Beberapa proses *hot working* adalah :

1. *Hot rolling*

Merupakan proses dimana material dipanaskan hingga temperatur rekristalisasi, setelah itu dilakukan proses penggilingan oleh dua buah roll pada kedua sisinya.

2. *Extrusion*

Merupakan proses *hot working* dimana suatu material dipanaskan hingga suhu rekristalisasi lalu ditekan pada suatu cetakan agar terbentuk produk.

3. *Forging*

Merupakan proses *hot working* dimana material dipanaskan hingga suhu rekristalisasi lalu dihimpitkan pada dua cetakan.

4. *Hot drawing*

Proses dimana material dipanaskan hingga suhu rekristalisasi setelah itu logam diletakkan pada cetakan dan ditarik hingga membentuk produk.

Keuntungan *hot working* dibandingkan dengan *cold working* antara lain :

1. Tidak ada pengerasan regangan
2. Gaya untuk deformasi lebih sedikit
3. Tingkat elastis dari material meningkat
4. Ukuran butir meningkat
5. Tidak ada sisa tegangan pada material

Kerugian pada *hot working* antara lain :

1. Membutuhkan energi panas
2. Permukaan yang tidak rata
3. Adanya ketidak presisian pada dimensi pada bagian-bagian material
4. Tahan lama/*lifetime* dari peralatan menurun
5. Pemindahan material yang panas sangat sulit

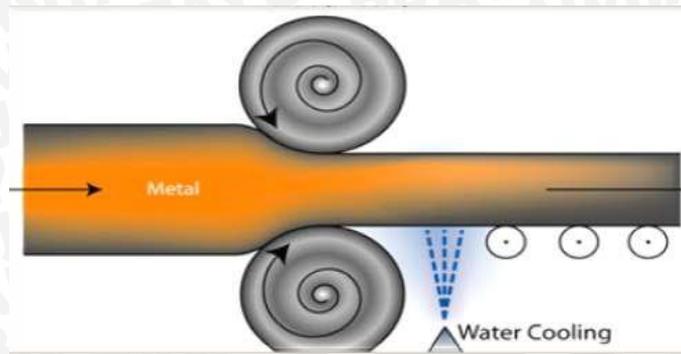
2.4.2 *Cold Working*

Cold working adalah deformasi plastis dibawah suhu rekristalisasi. Dalam banyak permasalahan industri pembentukan dingin (*cold forming*) dilakukan pada temperatur ruangan. Seringkali, proses pengerjaan dilakukan pada temperatur yang meningkat guna meningkatkan elastisitas, namun harus dilakukan sebelum suhu rekristalisasi.

Beberapa proses *cold working* adalah :

1. *Cold rolling*

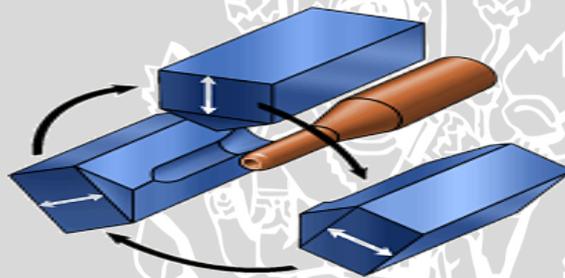
Proses *cold working* dimana material yang berupa lembaran diapit dua buah roll lalu ditekan hingga terjadi deformasi lalu didinginkan dengan cepat menggunakan air.



Gambar 2.1 Cold rolling
Sumber : Cagatay Yaylacl (2014)

2. Swaging

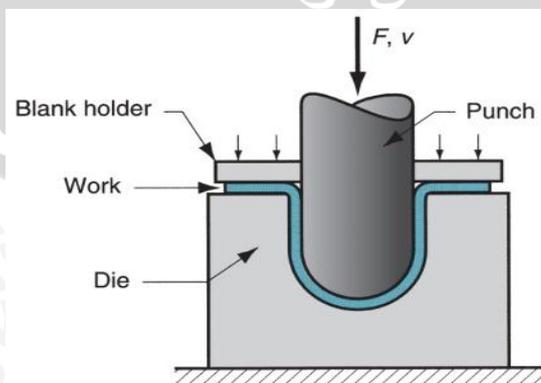
Merupakan salah satu proses *forging* dimana dimensi pembentukan suatu produk dibentuk dari cetakan yang nantinya akan ditekan pada material.



Gambar 2.2 Swaging
Sumber : Torrington Swager (2014)

3. Deep Drawing

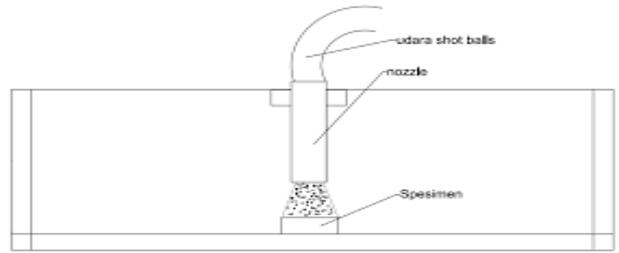
Merupakan proses *cold working* dimana material ditempatkan pada cetakan lalu ditekan hingga kedalaman cetakan tersebut.



Gambar 2.3 Deep Drawing
Sumber : Yuntian Zhu (2014)

4. *Peening*

Suatu proses yang dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat material. Proses *peening* dilakukan dengan memberikan tekanan pada permukaan material dengan menggunakan cara *shot peening*.



Gambar 2.4 Skema Proses *Shot peening*

Sumber: unlam.ac.id

Keuntungan *cold working* dibandingkan dengan *hot working* antara lain :

1. Tidak memerlukan panas
2. Hasil permukaan lebih baik
3. Sangat presisi
4. Meningkatkan sifat-sifat kekuatan
5. Kemampuan mereproduksi dan mengubah bagian-bagian alat yang lebih baik

Kerugian pada *cold working* antara lain :

1. Memerlukan gaya yang besar untuk mendeformasi
2. Peralatan yang digunakan lebih berat dan bertenaga
3. Kurangnya elastisitas
4. Permukaan logam harus dibersihkan

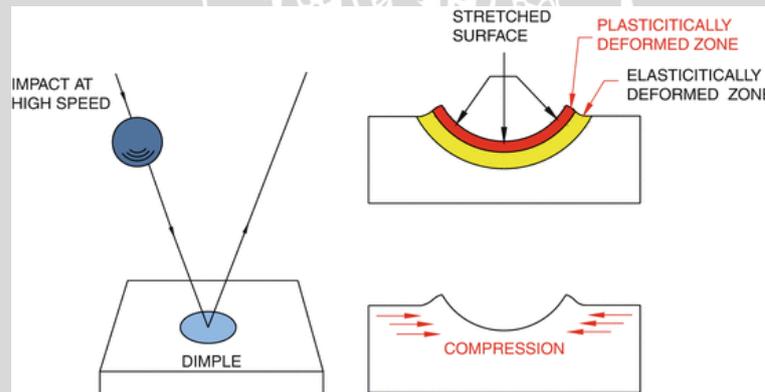
2.5 *Shot peening*

2.5.1 Proses *Shot Peening*

Shot peening merupakan suatu proses perlakuan pada permukaan material dengan menggunakan *peen hammer*, *shot peening* menggunakan sistem *abrassive* berupa bola-bola baja kecil yang ditembakkan dengan kecepatan tinggi ke sebuah permukaan suatu logam sehingga dihasilkan suatu tegangan sisa tekan (*compressive residual stress*) dan dapat menaikkan kekuatan *fatigue* nya. Tegangan sisa tekan terjadi akibat adanya deformasi plastis pada permukaan yang disebabkan oleh hantaman bola-bola baja terhadap permukaan material logam dan membentuk indentasi yang kecil. Tegangan sisa tekan tersebut terjadi akibat adanya konversi energi kinetik dari bola-bola baja yang ditembakkan

dengan kecepatan sangat tinggi pada permukaan material. Deformasi plastis juga menyebabkan penghalusan butir pada material logam. Butir yang terdeformasi plastis akan pecah dan berubah menjadi lebih kecil. Prosesnya yaitu penumbukan bola baja secara berulang-ulang sehingga mengalami deformasi plastis di permukaan, deformasi tersebut juga menimbulkan tegangan sisa.

Sistem pengerjaan ini digunakan untuk meningkatkan daya tahan *fatigue* dari sebuah logam dengan memberikan tegangan tekan pada permukaan logam. Bola-bola baja halus, ditembakkan dengan kecepatan tinggi ke permukaan, lalu akan meninggalkan jejak halus yang mengakibatkan terjadinya deformasi plastis yang mengakibatkan aliran plastis pada permukaan logam. Regangan plastis ini dihalangi oleh lapisan dibawahnya yang cenderung kembali ke sifat semula, dengan demikian akan diperoleh lapisan luar dengan tekanan dan dibawahnya lapisan dengan tegangan. Selain itu efek dari metode pengerjaan dingin ini membuat permukaan menjadi lebih keras dan lebih kuat. Pengaruh adanya tekanan pada daerah lapisan luar membawa pengaruh yang baik pada daya tahan *fatigue*.



Gambar 2.5 Ilustrasi *shot peening*
Sumber: www.springerreference.com

2.5.2 Klasifikasi Proses *Shot peening*

Secara umum proses *shot peening* dapat diklasifikasi menjadi 2 proses yaitu:

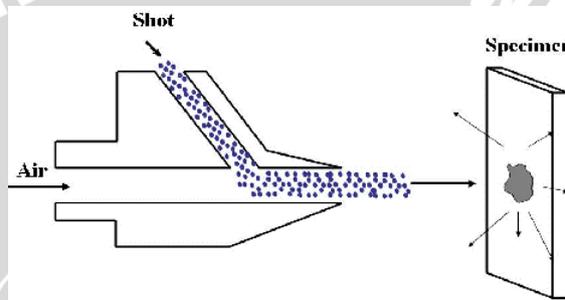
1. *Dry Shot Peening*

Dry Shot Peening merupakan proses *shot peening* dengan menggunakan penembakan partikel-partikel yang relatif berat dengan intensitas yang tinggi melalui udara yang bertekanan, diantaranya:

a. *Micro shot peening*

Micro shot peening salah satu perlakuan permukaan dengan cara menembakan bola – bola kecil (*micro shot*) menggunakan tekanan udara.

Diameter rata-rata bola berkisar 0.03 hingga 0.5 mm. Secara umum *micro shots* terbuat dari material seperti baja keramik titanium dan material dengan tingkat kekerasan yang tinggi. Harada, dkk (2008) pada penelitiannya dengan judul “*Effects of Micro Shot peening On Surface Characteristics of High-Speed Tool Steel*” penelitian tersebut meneliti pengaruh *microShot peening* pada karakteristik struktur dari permukaan baja. Material bola-bola yang digunakan lebih kecil dan lebih keras dari bola-bola yang biasa digunakan yaitu *cemented carbide*. Dalam penelitian tersebut bola-bola partikel diameternya berkisar 0.03 hingga 0.15 mm. Dari penelitian tersebut menghasilkan perubahan karakteristik material yang signifikan..



Gambar 2.6 Ilustrasi skema *micro shot peening*
Sumber: Haris, (2013)

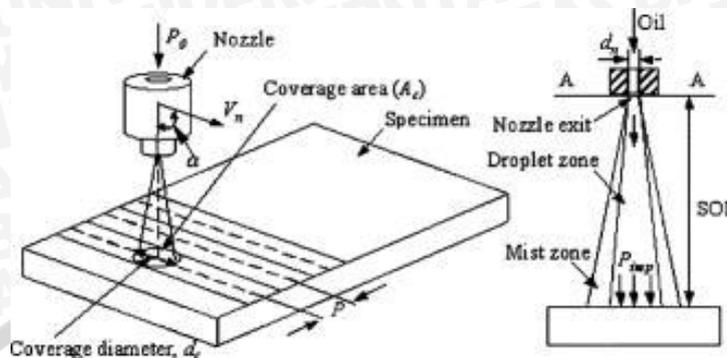
2. Wet Shot Peening

Wet shot peening merupakan proses *shot peening* dengan menggunakan penembakan partikel-partikel yang relatif ringan dengan intensitas yang rendah melalui media air yang bertekanan.

a. Oil Jet Peening

Oil jet peening merupakan salah satu dari proses perlakuan permukaan dengan prinsip yang sama dengan *water peening* dengan menggunakan minyak. Penggunaan minyak sebagai pengganti air untuk meningkatkan karakteristik permukaan dengan kelebihan agar dapat memberikan tegangan tekan pada permukaan material tanpa mengubah bentuk permukaan material. (Grinspan 2007) Pada penelitian *oil jet peening* pada baja AISI 1040 membuktikan bahwa nilai kekuatan tekan sebelum di *oil jet peening* sebesar 50 MPa. Setelah diberikan proses *oil jet peening* nilai kekuatan tekan menjadi

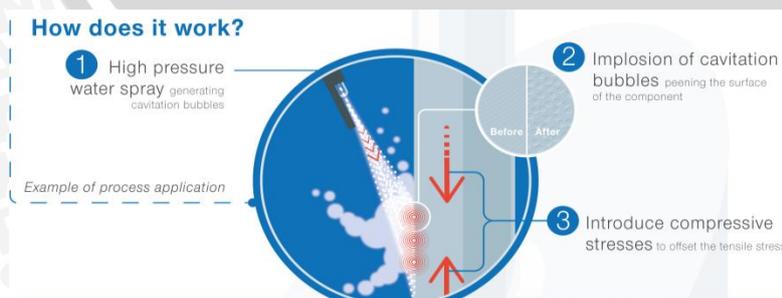
sebesar 200 MPa dan nilai ketahanan lelah material meningkat 17% dan kekerasan permukaan meningkat 10%.



Gambar 2.7 Ilustrasi skema *oil jet peening*
Sumber: (Grispan A.S 2009)

b. *Cavitation shotless peening*

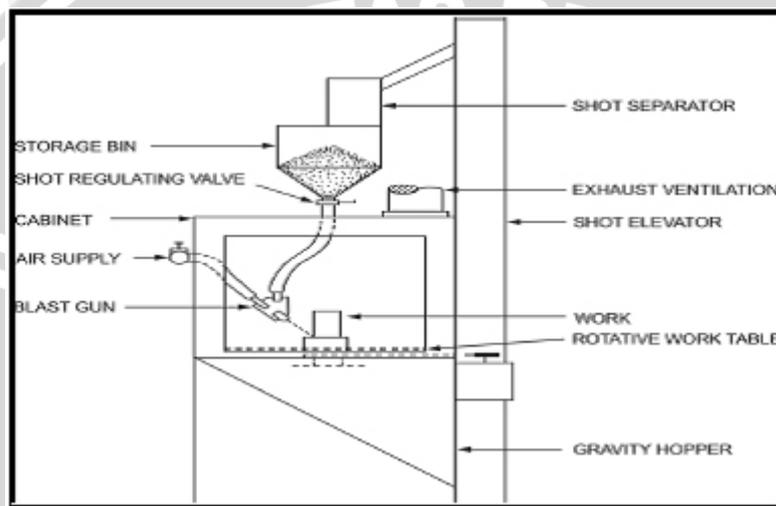
Cavitation shotless peening merupakan salah satu perlakuan permukaan dengan memanfaatkan proses kavitasi, kavitasi adalah fenomena perubahan fase uap dari zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang hingga di bawah tekanan uap jenuhnya, sehingga terbentuknya gelembung-gelembung air dan gelembung tersebut bertumbukan dengan permukaan material tanpa menggunakan *spherical shot*. Proses *cavitation shot less peening* tanpa menggunakan *spherical shot* sehingga tanpa mengubah bentuk permukaan tumbukan tersebut mengakibatkan tegangan sisa tekan dan perubahan struktur permukaan. Soyama H, dkk (2000) pada penelitiannya dengan judul “*Fatigue Strength Improvement of Gears Using Cavitation shotless Peening*” proses *cavitation shotless peening* pada *spur gear* tersebut menghasilkan peningkatan nilai kekuatan tarik hingga 60% dibandingkan *spur gear* tanpa mengalami perlakuan.



Gambar 2.8 Ilustrasi skema *cavitation shot less peening*
Sumber: Grispan (2009)

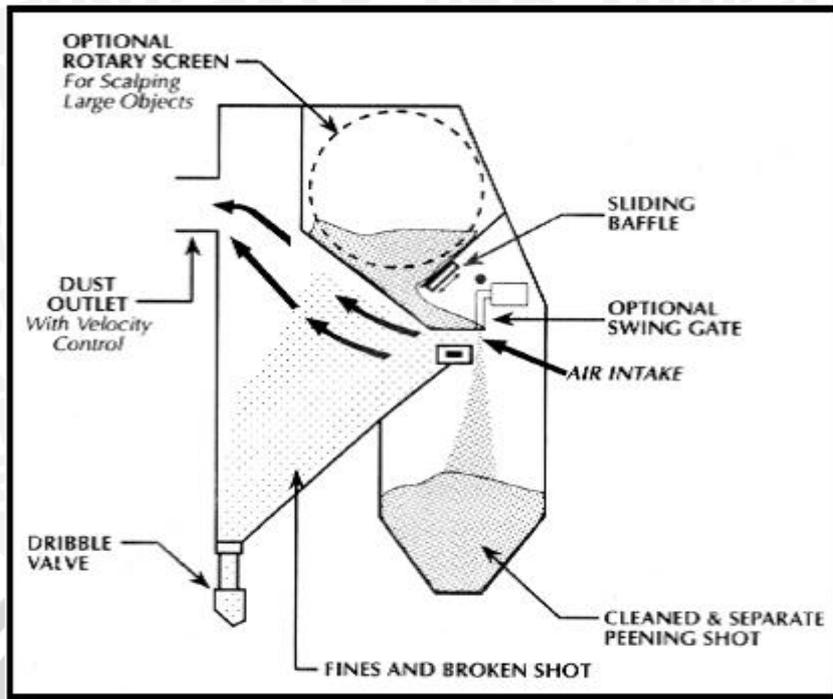
2.5.3 Mesin Shot Peening

Meskipun *peening* dan *abrasive blast cleaning* dapat dilakukan di ruangan khusus yang disebut *blast room*, namun *shot peening* sering dilakukan pada bilet khusus (*special cabinet*) yang didesain untuk keselamatan dari pantulan media dan menyediakan pengarah aliran *shot blast*. Tembakan (*shot*) dapat dilakukan menggunakan roda sentrifugal yang berputar atau menggunakan *air blast nozzle*. *Wheel peening* sering digunakan untuk produksi skala besar, khususnya di industri otomotif. *Airblast* digunakan untuk tingkat produksi skala kecil dan toleransi yang minim sangat dibutuhkan, khususnya pada industri pesawat terbang.



Gambar 2.9 Gravity nozzle machine
Sumber : Jack Campaigne (2001)

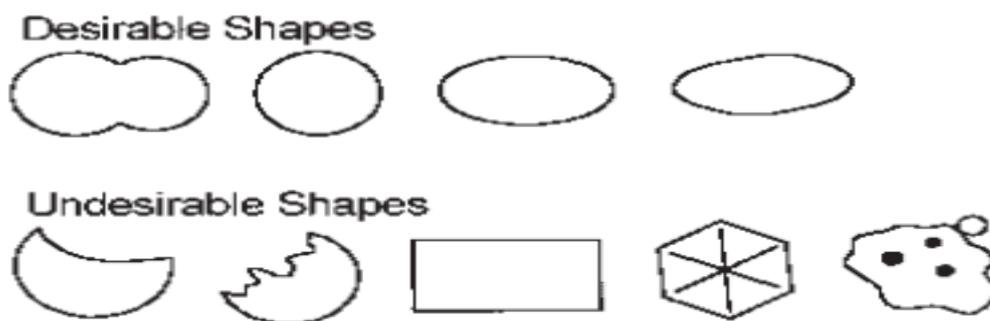
Peralatan lain sangat diperlukan untuk melengkapi mesin yang berfungsi untuk mendaur ulang media, sebagai pembersih debu dan membuang media yang rusak. Media harus dikumpulkan dari bawah mesin dan dipindahkan, dengan menggunakan *pneumatic conveyor* ataupun elevator ember (*bucket elevator*) menuju tempat pengelompokan media. Sistem pneumatik memiliki tabung pemisah (*cyclone separator*) yang mengaduk campuran udara dan media dalam aliran dimana media yang lebih berat dapat dikeluarkan dan digunakan kembali. media yang rusak akan dikeluarkan menuju tempat pembuangan. Sistem elevator ember akan mengeluarkan media menuju aliran udara yang akan menghempaskan media yang rusak, debu dan mengirim mereka ke tempat pembuangan. Lalu media yang masih bagus akan kembali ke penyimpanan untuk penggunaan kembali.



Gambar 2.10 Air wash separator
 Sumber : Jack Campaigne (2001)

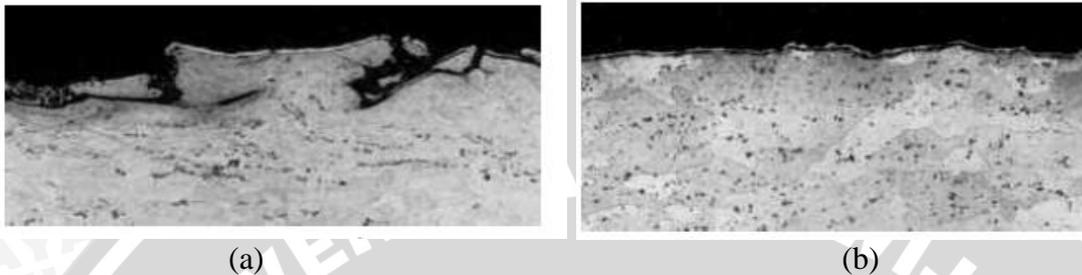
2.5.4 Media Shot Peening

Media yang digunakan untuk *shot peening* terdiri dari bola baja cor kecil (*small spheres of cast steel*), kabel baja karbon yang dipotong (*carbon steel cut wire*), keramik atau kaca. Material yang sering digunakan adalah baja karbon. *Stainless Steel* media digunakan ketika lapisan pada permukaan komponen mengandung besi. *Carbon steel cut wire*, digunakan untuk komponen yang hamper berbentuk bulat. Bola kaca juga digunakan jika terdapat campuran besi. Mereka umumnya lebih kecil dan lebih ringan dibandingkan dengan media lainnya dan dapat digunakan pada material yang memiliki intensitas sangat rendah.



Gambar 2.11 media yang bisa digunakan dan tidak
 Sumber : Lauchner (1974)

Bentuk bentuk media yang dapat digunakan dalam *shot peening* ditunjukkan pada Gambar 2.15. media *shot peening* harus mendekati bentuk bulat. Ketika media rusak setelah digunakan, media tersebut harus dibuang guna menghindari kerusakan permukaan saat terjadi *impact*. Gambar 2.16 (perbesaran 100x) a) menunjukkan kerusakan permukaan dan keretakan dari penggunaan media yang telah rusak dan b) menunjukkan permukaan dengan penggunaan media yang benar.



Gambar 2.12 : (a) menggunakan media yang rusak dan (b) menggunakan media yang bagus
Sumber : Jack Campaign (2001)

Media *shot peening* harus memiliki diameter sama. Tumbukan (*impact*) yang dihasilkan oleh media dipengaruhi oleh massanya dan kecepatannya. Media yang lebih besar memiliki massa yang besar dan menghasilkan *impact* yang besar pula. Jika media dengan berbagai ukuran dicampur untuk *shot peening*, media yang lebih besar akan membuat kompresi lapisan sisa (*residual compressive layer*) yang lebih dalam. Pencampuran tersebut akan menghasilkan kompresi lapisan sisa yang tidak seragam dan akan menghasilkan kelelahan (*fatigue*) yang tidak sesuai. Gambar 2.17 a) menunjukkan kelompok media dengan ukuran dan bentuk yang seragam dan b) kelompok media yang tidak beraturan.



Gambar 2.13: (a) media yang seragam dan (b) media yang tidak beraturan
Sumber : Jack Campaign (2001)

2.5.5 Efek Dari Kekerasan *Stainless Steel Ball*

Kekerasan dari *ball* akan mempengaruhi daerah tegangan kompresi. media *shot peening* seharusnya sama atau lebih keras dibandingkan dengan komponen yang akan di *shot peening*. Untuk material *ferrous* dan *nonferrous*, kebanyakan kriteria tersebut menggunakan *hardness steel shot* (45-52 HRC). Untuk penggunaan baja (50 HRC dan di atasnya) dengan kekuatan yang tinggi (*high strength*), kekerasan yang tinggi (*high hardness*) menggunakan *special hardness shot* (55-62 HRC).

2.6 Heat Treatment

Heat Treatment (perlakuan panas) adalah proses untuk mengubah struktur logam dengan metode memanaskan spesimen pada elektrik *terance* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama jangka waktu yang ditentukan, lalu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, oli, air, air garam, dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda.

Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam bentuk padat untuk menghasilkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan.

Sifat-sifat logam yang berpengaruh terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikrologam dan juga posisi kimianya. Dengan adanya proses pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu, material logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya.

Menurut jenisnya perlakuan panas (*Heat treatment*) digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu :

1. *Near Equilibrium* (Mendekati Kesetimbangan)

Tujuan dari perlakuan panas jenis *Near Equilibrium* ini diantaranya untuk : menghaluskan butir, melunakkan struktur kristal, dan memperbaiki *machineability*. Jenis dari perlakuan panas *Near Equilibrium*, adalah : *Full Annealing* (*annealing*), *Process annealing*, *Stress relief Annealing*, *Spheroidizing*, *Homogenizing* dan *Normalizing*.

2. *Non Equilibrium* (Tidak Setimbang)

Tujuan dari perlakuan panas jenis *Non Equilibrium* ini untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas *Non Equilibrium*, misalnya : *Hardening*, *Austempering*, *Martempering*, *Surface*

Hardening (Cyaniding, Flame hardening, Carburizing, Nitriding, Induction hardening).

2.6.1 Proses-proses *Heat Treatment*

Ada beberapa proses-proses pada perlakuan pada Heat Treatment yaitu diantaranya *annealing* dan *normalizing*.

1. *Annealing*

Proses *annealing* atau dengan kata lain melunakkan baja menggunakan proses pemanasan material baja di atas temperatur kritis (sekitar 723 °C) selanjutnya dibiarkan hingga temperatur merata disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar temperatur antara bagian luar dan dalam sama, hingga diperoleh struktur yang dikehendaki dengan menggunakan media pendingin udara.

Tujuan proses *annealing* :

1. Memperbaiki butir-butir logam.
2. Melunakkan material logam.
3. Menghilangkan tegangan dalam / sisa

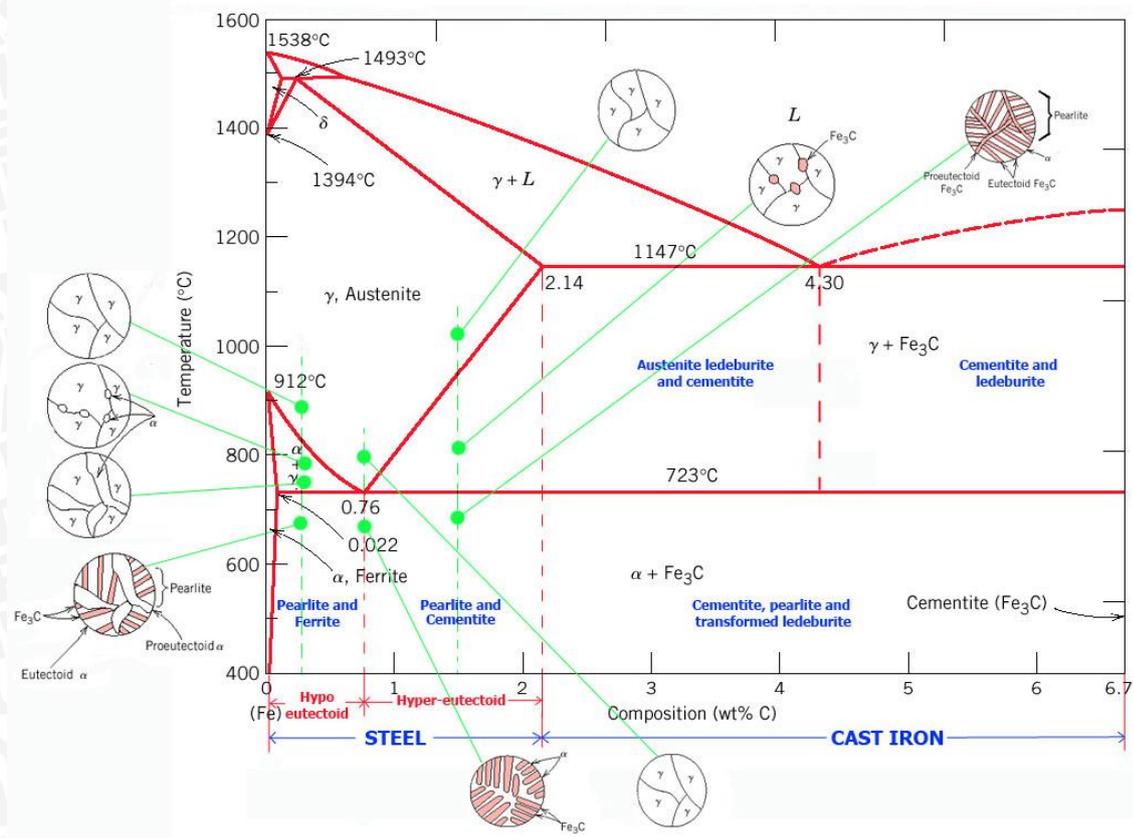
2. *Normalizing*

Normalizing adalah proses pemanasan logam hingga mencapai fase austenit yang kemudian didinginkan secara perlahan-lahan dalam media pendingin udara. Hasil pendingin ini berupa perlit dan ferit namun hasilnya jauh lebih mulus dari *annealing*. Prinsip dari proses *normalizing* adalah untuk melunakkan logam. Namun pada baja karbon tinggi atau baja paduan tertentu dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak. Mungkin berupa pengerasan dan ini tergantung dari kadar karbon. Tujuan dari Proses *normalizing* guna memperbaiki dan menghilangkan struktur butiran kasar dan ketidakseragaman struktur dalam baja menjadi struktur normal kembali yang otomatis mengembalikan keuletan baja lagi. Struktur butiran kasar terbentuk karena waktu pemanasan dengan temperatur tinggi atau di daerah austenit yang menyebabkan baja berstruktur butiran kasar.

Sedangkan penyebab dari ketidakseragaman struktur karena :

- Pengerjaan rol atau tempa

- Pengerjaan las atau potong las
- Temperatur pengerasan yang terlalu tinggi
- Menahan terlalu lama di daerah austenit
- Pengepresan, penglubangan dengan punch, penarikan



Gambar 2.14 : Diagram Fe-Fe₃C

Sumber: <http://www.science-technology.ga/2013/04/diagram-fe-fe3c.html>

Keterangan diagram Fe-Fe₃C :

- 0.0008% C : Batas kelarutan minimum karbon dalam ferit pada suhu kamar
- 0.025% C : membatasi kelarutan maksimum karbon dalam ferit pada suhu 723oC
- 0.83% C : titik eutektoid
- 2% C : besi batas kelarutan dalam delta suhu 1130oC
- 4,3% C : titik eutektoid
- 18% C : besi batas kelarutan dalam delta suhu 1439oC
- Baris A0 : garis di mana suhu transformasi magnetik terjadi sementit
- A1 line : garis suhu di mana ada austenit (gamma) untuk ferit di pendinginan
- A2 line : garis suhu transformasi magnetik yang terjadi pada ferit
- A3 line : suhu baris di mana terjadi perubahan dari ferit ke austenit (gamma) pada pemanasan
- Sebuah garis: garis yang menunjukkan karbon dan transformasi baja hypoeutectoid
- Garis E : garis yang menunjukkan transformasi baja eutektoid

13. B line : garis yang menunjukkan kadar karbon baja transformasi baja hypoeutectoid
 14. Cair baris : baris yang menunjukkan awal dari proses pendinginan (pembekuan)
 15. Solidus line : garis yang menunjukkan batas antara austenit padat dan cair austenit.

Fasa-fasa yang terdapat dalam diagram Fe-Fe₃C

1. Ferit (α)

Merupakan nama untuk larutan padat α yang hanya bisa melarutkan dalam jumlah kecil C. Jika dilihat menggunakan mikroskop struktur mikronya tampak berwarna putih. Kelarutan maksimal karbon dalam α yaitu 0.02% C pada temperature 723⁰C. Fase ini merupakan fasa yang paling lunak diantara fase lainnya.

2. Austenit (γ)

Merupakan larutan padat karbon yang terlarut dalam besi γ dengan kelarutan maksimal 2% C pada suhu 1130⁰C. Ini merupakan struktur yang tidak stabil pada suhu kamar, karena pada saat kondisi tertentu dimungkinkan untuk γ pada suhu kamar.

3. Sementit / Karbida Besi (Fe₃C)

Merupakan senyawa yang keras dan juga rapuh dengan kekuatan tarik yang relatif rendah, tetapi kekuatan tekannya tinggi. Jadi senyawa ini merupakan fasa yang paling keras dalam diagram struktur Fe-Fe₃C.

4. Perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)

Merupakan campuran eutktoid yang mengandung 0.8%C dan terbentuk pada suhu 723⁰C pada metode pendinginan sangat lambat. Jika dilihat melalui mikroskop campuran ini nampak terbentuk plat-plat yang merupakan campuran $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$.

5. Ledeburit ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$)

Merupakan campuran eutektik antara γ dengan Fe₃C yang terjadi pada 4.3% C dan terbentuk pada temperature 1130⁰C.

2.6.2 Definisi Struktur Fasa

1. Martensit

Martensit adalah struktur mikro yang terbentuk pada baja yang dikarenakan laju pendinginan sangat cepat, dimana atom-atom karbon tidak sempat bedifusi dengan kata lain terperangkap dalam larutan super jenuh. Martensit terbentuk

tanpa difusi dan memiliki sifat yang sangat keras yang membuatnya getas dan rapuh. Struktur mikro ini umumnya memiliki bentuk menyerupai jarum-jarum yang terang.

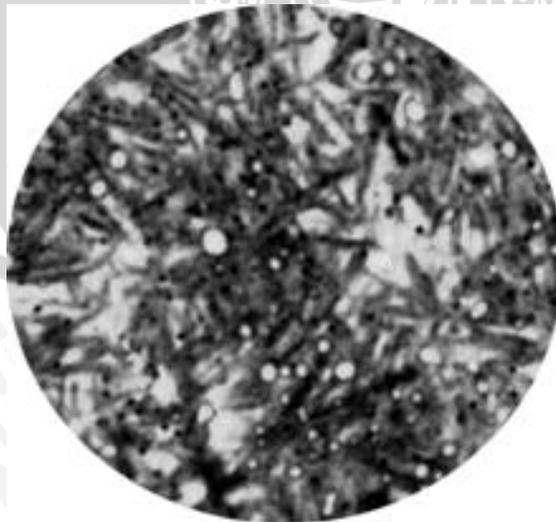


Gambar 2.15 Mikrostruktur Martensit

Sumber: <http://compfab.me.lsu.edu/me3701/experiments/metallography>

2. Bainit

Merupakan struktur mikro yang terbentuk dari hasil laju pendinginan yang cukup cepat / lebih lambat dari martensit dengan kata lain bainit terbentuk sebagian dan hanya sebagian dari α yang bergeser ke batas butir. Hal ini yang membuat logam tersebut menjadi tangguh dan memiliki struktur mikro berbentuk seperti bulu burung.

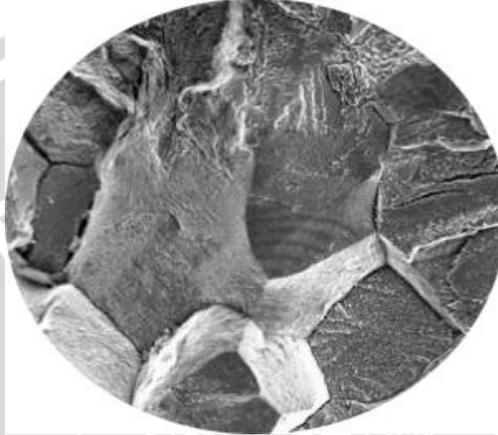


Gambar 2.16 Mikrostruktur Bainit

Sumber: http://america.pink/bainite_551203.html

3. Austenit

Merupakan modifikasi dari struktur besi FCC (*Face Centre Cubic*) yang memiliki jarak atom yang lebih besar dibandingkan dengan perlit. Meski demikian rongga pada struktur kubik pemusatan sisi hamper tidak bias menampung atom karbon dan menyebabkan regangan dalam struktur, efek dari itu menyebabkan tidak semua rongga terisi.

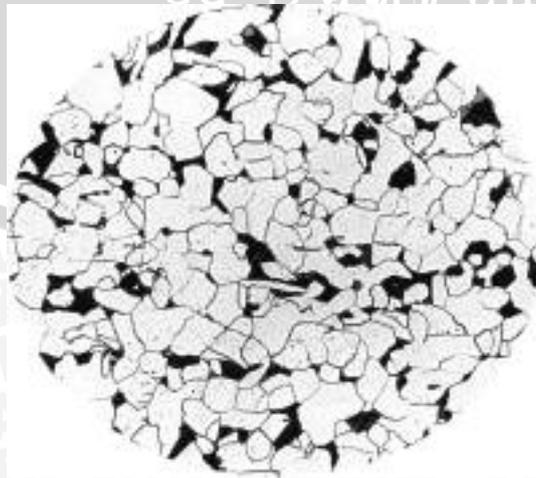


Gambar 2.17 : Mikrostruktur Austenit

Sumber: <http://www.slideshare.net/DivagarMgr/heat-treatment-of-materials>

4. Ferit

Adalah fasa stabil yang terbentuk dari besi murni pada kisaran suhu 723°C – 910°C yang memiliki sifat lunak, magnetis, liat dan baik untuk ditempa. Truktur mikro pada umumnya berbentuk seperti pulau-pulau berwarna terang.



Gambar 2.18 : Mikrostruktur Ferit

Sumber : http://www.matter.org.uk/steelmatter/forming/4_5.html

5. Perlit

Perlit adalah campuran eutektoid antara ferrite dan Fe_3C , struktur mikro tersebut terjadi dibawah suhu 723°C , struktur ini lebih kuat dan keras jika dibandingkan ferrit. Struktur mikro ini umumnya memiliki bentuk yang menyerupai jalur cacing.



Gambar 2.19: Mikrostruktur Perlit
Sumber: <http://imechanica.org>

2.7 Deformasi

Deformasi dalam mekanika kontinum adalah perubahan sebuah benda dari kondisi semula ke kondisi terbaru. Makna dari kata "kondisi" itu sendiri dapat diartikan sebagai serangkaian posisi dari semua partikel yang terkandung di dalam benda tersebut.

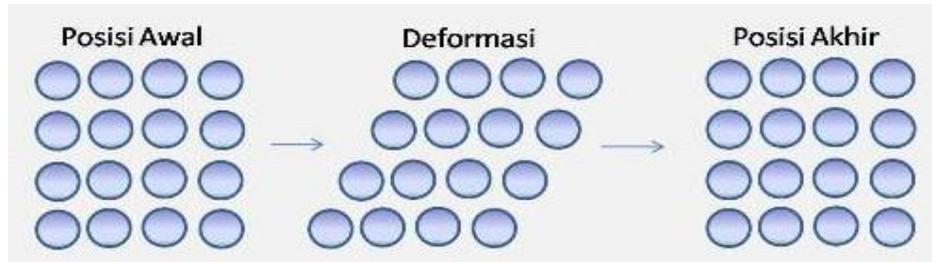
Sebuah deformasi dapat disebabkan oleh gaya eksternal, gaya internal (seperti gravitasi atau gaya elektromagnetik) atau perubahan temperatur di dalam benda (pemuatan).

Regangan merupakan bagian dari deformasi yang dimisalkan sebagai perubahan bentuk dari partikel-partikel yang ada di dalam benda yang bukan termasuk benda kaku. Penjelasan lain dari regangan itu sendiri bisa berbeda-beda tergantung pada bidang apa yang digunakan atau dari dan ke titik mana regangan terjadi.

Dalam benda kontinyu, bidang yang mengalami deformasi dihasilkan dari tegangan yang diaplikasikan akibat adanya gaya atau pemuatan di dalam benda. Hubungan antara tegangan dan regangan diekspresikan sebagai persamaan konstitutif, seperti hukum Hooke mengenai elastisitas linear. Dalam jenisnya sendiri deformasi dibagi menjadi 2 yaitu deformasi elastis dan denformasi plastis :

1. Deformasi elastis

Benda yang terdeformasi dapat kembali ke kondisi/bentuk semula setelah gaya yang diberikan dilepas, dan hal tersebut dinamakan deformasi elastis. Proses deformasi elastis bisa dilihat pada gambar 2.6.

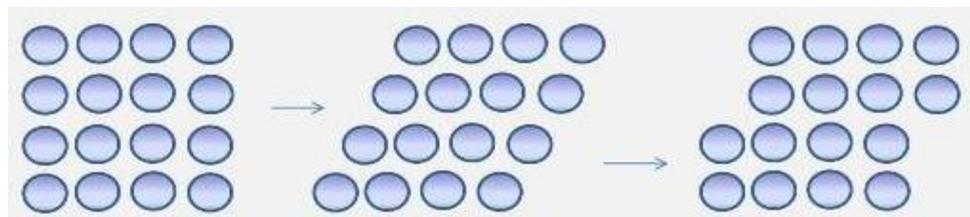


Gambar 2.20 skema proses deformasi elastis secara atomik.

Sumber: Backofen. W. A., 1972

2. Deformasi Plastis

Deformasi plastis adalah benda yang tidak dapat dikembalikan ke posisi awal meski gaya yang terjadi telah dilepas, hal ini terjadi ketika benda telah melewati batas elastis atau *yield* dan menghasilkan slip atau mekanisme dislokasi pada tingkat atom. Proses deformasi plastis bisa dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.21 skema proses deformasi plastis secara atomik.

Sumber: Backofen. W. A., 1972

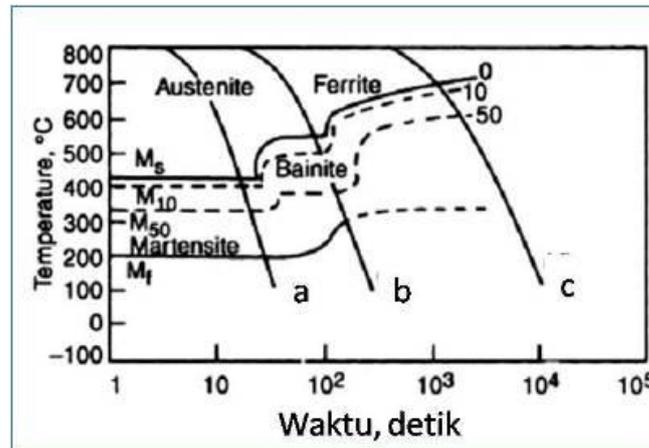
2.8 Pengembalian (*Reversing*)

Reverse atau *reversing* adalah suatu proses untuk mengembalikan struktur semula dari suatu material yang telah mendapat perlakuan. Salah satu proses *reversing* yang digunakan diantaranya adalah dengan *annealing treatment*.

2.9 Diagram CCT (*Cooling Continuous Transformation*)

Diagram *Continuous Cooling Transformation*, biasa disebut Diagram CCT, adalah diagram yang menggambarkan hubungan antara laju pendinginan secara berlanjut dengan fasa atau struktur yang terbentuk setelah proses terjadinya transformasi/perubahan fasa. Gambar 2.6 menunjukkan diagram CCT pada baja secara skematis. Terlihat

pada diagram bahwa kurva-kurva pendinginan berlanjut dengan metode pendinginan berbeda akan menghasilkan fase atau struktur baja yang berbeda pula. Setiap kurva pendinginan yaitu kurva (a), (b), dan (c) memperlihatkan awal dan akhir dari dekomposisi *austenite* menjadi fasa atau struktur baja akhir.



Gambar 2.22 *Cooling Continuous Transformation, CCT Diagram.*

Sumber: Thelning, K. E., 1984, "Steel and Its Heat Treatment", Second Edition, Butterworth.

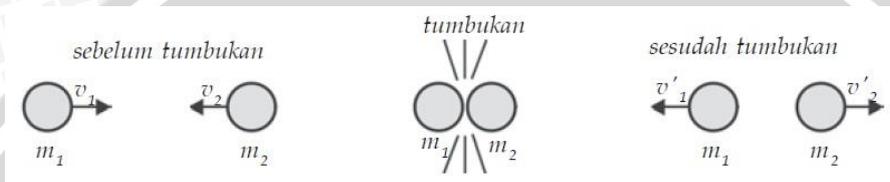
Sebagai contoh, baja mengandung 0,2 % karbon yang telah mengalami austenisasi pada temperatur 920° celcius, kemudian didinginkan dengan laju pendinginan yang berbeda hingga temperature 200° dan 250° celcius. Kurva pendinginan (a) menunjukkan pendinginan secara terus menerus yang sangat cepat dari temperatur *austenite* sekitar 920° celcius hingga mencapai temperature 200° celcius. Laju pendinginan cepat tersebut menghasilkan sebuah dekomposisi dari fase *austenite* menjadi *martensit*. Fase *austenite* mulai terdekomposisi menjadi *martensit* pada temperatur m_s , *martensite start*. Sedangkan akhir dari sebuah pembentukan *martensit* akan berakhir ketika pendinginan mencapai temperatur m_f , *martensite finish*. Kurva pendinginan (b) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju sedang/medium dari temperatur 920° celcius ke 250° celcius. Dengan laju pendinginan tersebut fasa *austenite* berubah atau terdekomposisi menjadi struktur bainit. Kurva pendinginan (c) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan metode pendinginan lambat dari suhu 920 celcius ke 250 celcius. Pendinginan lambat ini mengakibatkan fasa *austenite* terdekomposisi menjadi fasa *ferrit* dan *perlit*.

2.10 Tumbukan

1. Tumbukan Lenting Sempurna

Dua buah benda bisa dibidang mengalami tumbukan lenting sempurna bila tidak ada kehilangan energi kinetik ketika terjadi tumbukan. Energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan sama demikian juga dengan momentum dari sistem tersebut. Dalam tumbukan lenting sempurna secara matematis bisa dirumuskan

$$V_1 + V_1' = V_2 + V_2'$$

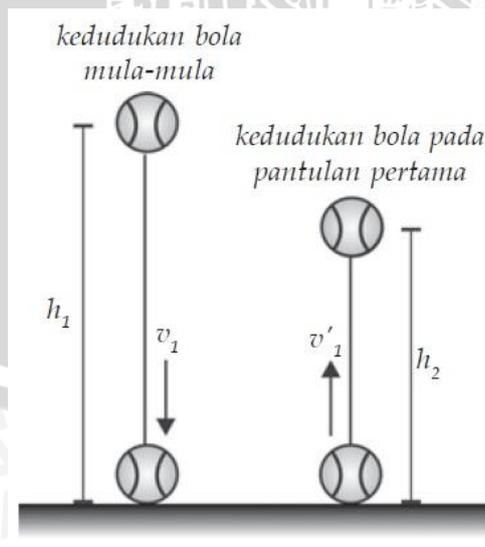


Gambar 2.23 Tumbukan Lenting Sempurna
Sumber: fisikazone.com

2. Tumbukan lenting Sebagian

Dua buah benda dikatakan mengalami tumbukan lenting sebagian bila ada kehilangan energi kinetik setelah tumbukan. Secara matematis kecepatan masing-masing benda sebelum dan sesudah tumbukan dapat dilihat pada rumus berikut

$$eV_1 + V_1 = eV_2 + V_2$$

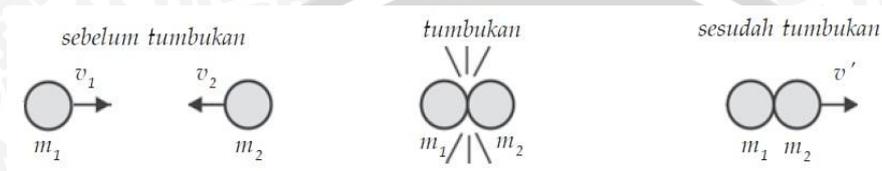


Gambar 2.24 lenting Sebagian
Sumber: fisikazone.com

3. Tumbukan tidak lenting sama sekali

Dua buah benda dikatakan mengalami tumbukan tidak lenting sama sekali jika setelah tumbukan kedua benda tersebut menjadi satu dan setelah tumbukan kedua benda tersebut memiliki kecepatan yang sama. Momentum sebelum dan sesudah tumbukan juga bernilai sama. Secara matematis dirumuskan.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v'$$



Gambar 2.25 Tumbukan tidak lenting sama sekali

Sumber: fisikazone.com

2.11 Kekerasan dan Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan adalah suatu pengujian yang digunakan untuk mengetahui harga kekerasan dari suatu material, dimana kekerasan dapat didefinisikan sebagai ketahanan suatu material terhadap deformasi permanen oleh penekanan/penetrasi. Ada beberapa cara pengujian yang terstandar yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, pengujian *Brinell*, *Rockwell*, *Vickers* dan lain-lain.

Pengujian *Vickers* adalah salah satu cara pengujian kekerasan yang paling banyak digunakan. Uji kekerasan *Vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antara permukaan permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136° . Pengujian *Vickers* juga disebut sebagai uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan intan didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Karena adanya indentasi itu maka pada permukaan logam tersebut akan terjadi tapak tekan yang berbentuk persegi. Kekerasan *Vickers* dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

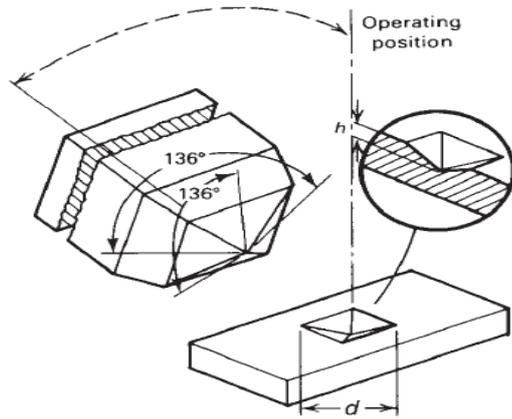
$$VHN = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{1,854 P}{d^2}$$

Dimana:

P = gaya tekan (kg)

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara intan yang berhadapan (136°)



Gambar 2.26 Kekerasan Vickers
Sumber: Voort dan Lucas (1998)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

