

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai pengaruh *shot peening* terhadap tegangan sisa dilakukan oleh Meo & Vignjevic (2002) melakukan permodelan secara rinci pada bidang sambungan las dan tegangan sisa yang dihasilkan dari proses *shot peening* menggunakan simulasi komputer. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa penggunaan *shot peening* akan meningkatkan kinerja struktural pada sambungan las secara signifikan. Hal ini disebabkan karena proses *shot peening* membentuk lekukan pada permukaan yang memaksakan terjadinya tegangan sisa tekan memanjang dan akan menurunkan jumlah medan tegangan sisa tarik yang dihasilkan oleh proses pengelasan. Secara khusus, proses *shot peening* meningkatkan *fatigue life* dari material yang di las, karena hilangnya tegangan tarik menyebabkan ketahanan retak material meningkat. Dan penelitian ini menunjukkan kemampuan prediksi dari alat simulasi dalam menggambarkan efek dari proses *shot peening* terhadap tegangan sisa yang terjadi pada sambungan las.

Taehyung et al (2011) melakukan penelitian tentang permodelan 3D *multi shot shot peening* dengan variasi sudut 45°, 60°, dan 75°. Konvergensi antara jumlah penembakan, sudut penembakan dan siklus benturan diperhitungkan untuk mengetahui tegangan sisa yang terjadi pada material AISI4340, AISI4140 dan SPS8. Perubahan besaran tegangan sisa yang terjadi selama perubahan pola benturan dan interval benturan juga diperhitungkan. Berdasarkan hasil perhitungan sudut benturan dan pola benturan yang terbaik terjadi pada sudut 75° yang menghasilkan nilai tegangan sisa tekan dan kedalaman deformasi yang maksimum. Hal tersebut juga konsisten terhadap hasil perhitungan pada data yang dihasilkan oleh spesimen AISI4340, AISI4140 dan SPS8. Sehingga mendukung asumsi bahwa metode *multi shot shot peening* tidak begitu mempengaruhi pemilihan bahan pada proses *shot peening*.

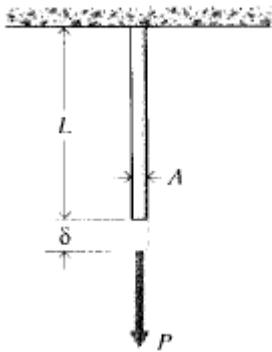
2.2 Tegangan

Konsep dasar untuk dapat mengerti tegangan dalam ilmu material adalah besaran gaya internal yang terdapat pada material yang dipengaruhi oleh gaya eksternal. pada gambar 2.1 merupakan bentuk diagram benda bebas yang biasa digunakan untuk menjelaskan pengaruh antara gaya internal dan gaya eksternal.



Gambar 2.1 Hubungan antara gaya eksternal dan tegangan
Sumber : Vable, Madhukar (2012)

Dalam aplikasinya pada teknik material, tegangan biasa disebut sebagai intensitas gaya yang bekerja dalam satuan luas. Dengan anggapan bahwa intensitas gaya yang bekerja pada keseluruhan penampang adalah sama. Cara paling umum untuk mengetahui fenomena tegangan pada kehidupan sehari-hari adalah sebuah batang yang menggantung di langit-langit.



Gambar 2.2 *Normal Stress*
Sumber : Roylance, David (2008)

Dengan panjang batang sebesar L dan penampang batang sebesar A serta beban aksial sebesar P yang berlaku sepanjang batang. Di sisi lain dengan semakin bertambahnya nilai beban aksial, defleksi aksial δ akan ikut bertambah. Sedangkan intensitas gaya yang berlaku atau tegangan biasa disimbolkan dengan σ . Kembali dengan anggapan bahwa intensitas gaya σ dianggap terdistribusi secara merata pada penampang A . Maka resultan gaya yang berlaku pada batang adalah hasil kali intensitas gaya dengan

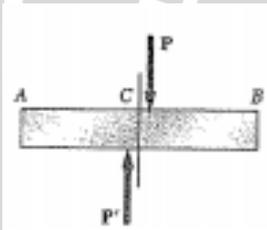
luas penampang. Resultan gaya yang dihasilkan akan berlawanan arah dengan arah beban aksial P. Sehingga dapat kita peroleh :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan :

- σ = Tegangan normal (N/mm²)
- P = Gaya yang bekerja (N)
- A = Luas penampang (mm²)

Tegangan yang terjadi pada permukaan benda secara umum dikategorikan menjadi dua jenis berdasarkan arah gaya yang berlaku terhadap permukaan terpotong. Apabila arah gaya tegak lurus dengan permukaan terpotong maka disebut tegangan normal dan apabila arah gaya sejajar dengan permukaan terpotong maka disebut tegangan geser.



Gambar 2.3 *Shear Stress*
 Sumber : Beer, Ferdinand (2012)

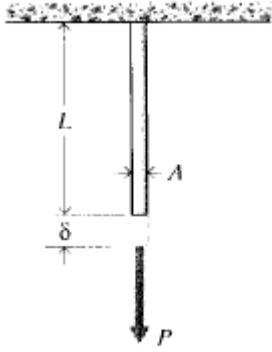
$$\tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2-2)$$

Keterangan :

- τ = Tegangan Geser (N/mm²)
- F = Gaya yang bekerja (N)
- A = Luas penampang (mm²)

Apabila satu benda diberi gaya yang menimbulkan tegangan pada penampang benda tersebut maka benda tersebut juga akan mengalami regangan. Regangan itu sendiri dapat di definisikan sebagai perbandingan dari perubahan panjang benda setelah diberi gaya dengan panjang awal benda sebelum diberi gaya.





Gambar 2.4 *Tension Test*
Sumber : Roylance, David (2008)

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan :

- ε = Regangan
- δ = Perubahan Panjang (mm)
- L = Panjang awal (mm)

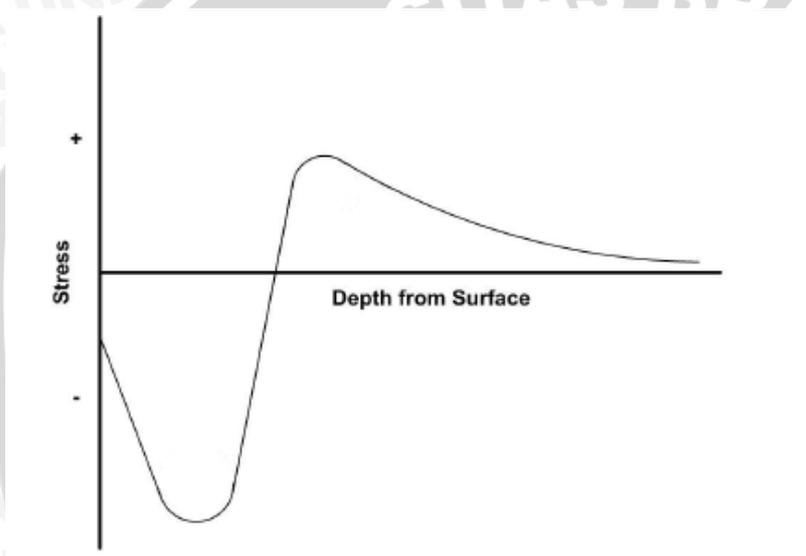
2.2.1 Tegangan sisa

Tegangan sisa dapat di definisikan sebagai tegangan yang tetap berada pada bodi atau struktur material meskipun sudah tidak dipengaruhi gaya eksternal. tegangan sisa biasanya terjadi akibat proses manufaktur yang melibatkan deformasi material, permesinan ataupun segala macam operasi yang menyebabkan perubahan bentuk material (Robert, 2012). Tegangan sisa dapat menyebabkan *local yielding* dan deformasi plastis baik dalam skala mikroskopik maupun makroskopik yang tentunya sangat mempengaruhi performa dari material tersebut pada aplikasinya.

Namun di sisi lain besar dan distribusi tegangan sisa yang terdapat pada material merupakan salah satu faktor yang dipertimbangkan dalam perencanaan desain komponen. Meskipun tegangan sisa tarik yang terdapat pada permukaan material biasanya dianggap sebagai kerugian utama yang dapat menyebabkan berbagai macam kegagalan material seperti *fatigue failure*, *quench cracking* dan *stress corrosion cracking*. Tegangan sisa tekan pada permukaan material justru dianggap sebagai keuntungan yang dapat menyebabkan meningkatnya ketahanan *fatigue* dan ketahanan terhadap *stress corrosion cracking*.

2.2.2 Tegangan sisa pada *shot peening*

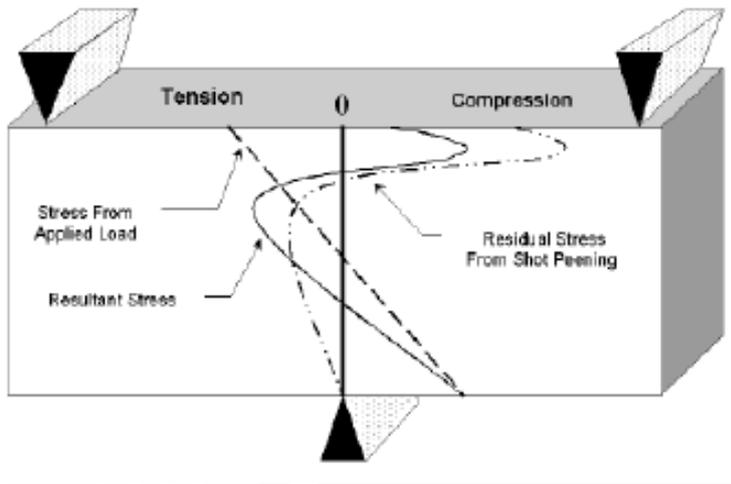
Tegangan sisa yang dihasilkan pada proses *shot peening* berupa tegangan sisa tekan. Tegangan sisa tekan ini menekan atau mengurangi kemungkinan terjadinya tegangan sisa tarik yang merupakan penyebab utama terjadinya inisiasi retakan maupun *stress corrosion cracking*. Profil tegangan sisa yang dihasilkan oleh proses *shot peening* pada umumnya dapat digambarkan seperti pada gambar 2.5 di mana nilai tegangan maksimum yang terjadi biasanya tepat pada bagian bawah permukaan. Semakin besar nilai maksimal tegangan sisa yang dihasilkan maka semakin baik ketahanan material terhadap kegagalan *fatigue*.



Gambar 2.5 Profil Tegangan Pada Proses *Shot peening*
Sumber : Howard, Robert (2008)

Semakin dalam pengaruh tegangan sisa tekan pada material semakin besar pula kemampuan resistensi terhadap pertumbuhan retak. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh besarnya gaya benturan yang terjadi selama proses *shot peening*. Jika suatu material mengalami proses *shot peening*, permukaan material akan mengalami suatu tegangan utuh dari beban yang terjadi dan tegangan sisa dari proses *shot peening*. Dan seperti yang terlihat pada gambar 2.5 tegangan sisa tekan terjadi pada permukaan material dan tegangan tarik di sebagian besar sisa bagian dalam material.

Pada gambar 2.6 kita dapat melihat lebih jelas ilustrasi dari tegangan yang terjadi pada *beam* yang terkena beban pada 3 titik sehingga terjadi tekukan pada permukaannya.



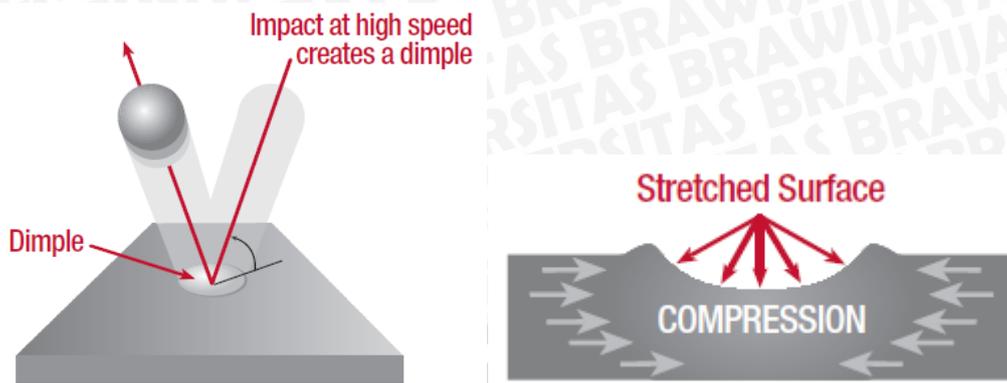
Gambar 2.6 Resultan gaya pada material yang sudah di *shot peening*
 Sumber : *Metal Improvement Company* (2005)

Garis diagonal pada gambar merupakan tegangan tarik yang terjadi akibat beban tekuk, dan kurva dengan garis putus-putus merupakan tegangan sisa tekan yang dihasilkan oleh proses *shot peening*. Dan garis solid merupakan resultan gaya gabungan dari tegangan tarik dan tegangan tekan dan dapat terlihat bahwa tegangan tarik pada permukaan berkurang secara signifikan.

Shot peening sangat ideal untuk bahan berkekuatan tinggi. Di mana tegangan tekan dapat berkorelasi langsung dengan tegangan tarik bahan tersebut, karena semakin besar tegangan tarik yang dimiliki material semakin besar pula tegangan tekan yang dapat dihasilkan. Dan juga material berkekuatan tinggi cenderung memiliki struktur kristal yang lebih kaku, Di mana kisi-kisi dari kristal-kristalnya dapat menahan tegangan yang besar sehingga kemampuan menyimpan tegangan sisanya pun semakin besar pula.

2.3 *Shot peening Process*

Proses *shot peening* merupakan salah satu pekerjaan dingin (*Cold working*) yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan *fatigue*, *corrosion fatigue*, dan *stres corrosion cracking*. Dengan cara menembakkan sejumlah bola-bola logam pada permukaan benda, setiap bagian bola yang membentur permukaan benda mengakibatkan munculnya lekukan kecil pada permukaan.



Gambar 2.7 mekanisme *yielding* pada titik benturan
 Sumber : *Metal Improvement Company* (2005)

Pada bagian bawah lekukan terjadi tegangan yang bermaksud untuk mengembalikan permukaan ke bentuk semula, sehingga menghasilkan tegangan tekan yang sangat besar pada bagian bawah permukaan. Lekukan tumpang tindih yang dihasilkan dari benturan berulang-ulang akan menghasilkan tegangan sisa tekan yang lebih besar. Tegangan sisa tekan yang dapat dihasilkan dari proses *shot peening* setidaknya sebesar setengah dari kekuatan *yield* dari material tersebut.

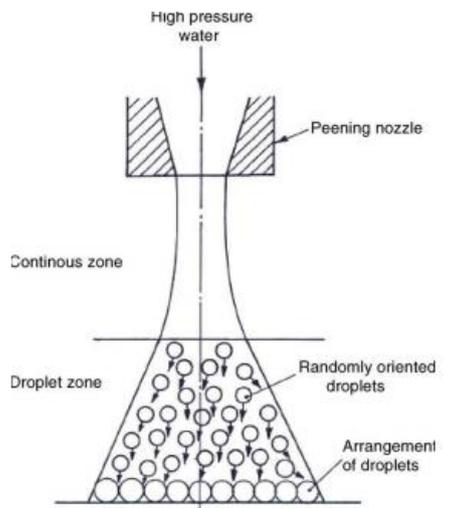
Seperti yang kita tahu bahwa hampir seluruh kegagalan *fatigue* dan *stress corrosion cracking* berasal dari permukaan yang mengalami tegangan tarik yang berulang hingga akhirnya menyebabkan retak pada permukaan. Dan juga seperti yang kita tahu bahwa inisiasi retakan tidak akan pernah terjadi pada daerah yang mengalami tegangan tekan. Oleh sebab itu tujuan utama dari proses *shot peening* adalah membentuk tegangan sisa tekan pada permukaan material sehingga ketahanan material terhadap kegagalan *fatigue* dan *stress corrosion cracking* meningkat. Namun pada beberapa jenis material juga akan mengalami meningkatnya nilai kekerasan permukaan yang disebabkan oleh proses *shot peening*.

2.3.1 Jenis-Jenis Shot Peening

Secara umum terdapat 5 proses *shot peening* yang biasa digunakan, yaitu :

1. *Water Jet Peening*

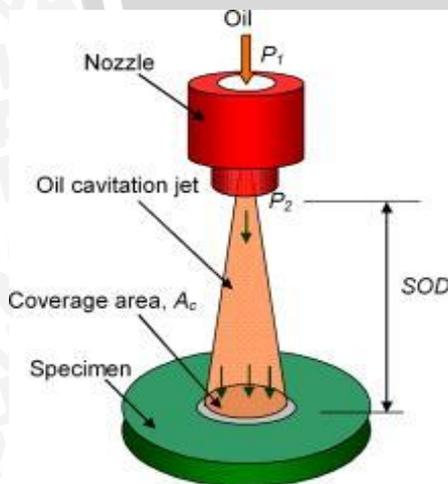
Water Jet Peening merupakan salah satu metode pengerjaan dingin. Metode *Water Jet Peening* adalah membombardir permukaan spesimen dengan media *shot* pada air yang bercepatan tinggi. Tumbukan yang terjadi mengakibatkan deformasi di permukaan spesimen.



Gambar 2.8 Skema proses *Water Jet Peening*
Sumber : Haris (2013)

2. *Oil Jet Peening*

Oil jet Peening merupakan salah satu metode pengerjaan dingin. Prinsip kerja *Oil jet Peening* sama dengan *Water Jet Peening*, namun *Oil Jet Peening* menggunakan minyak. Kelebihan dari penggunaan minyak dapat memberikan tegangan tekan pada permukaan spesimen tanpa mengubah bentuk permukaan spesimen.

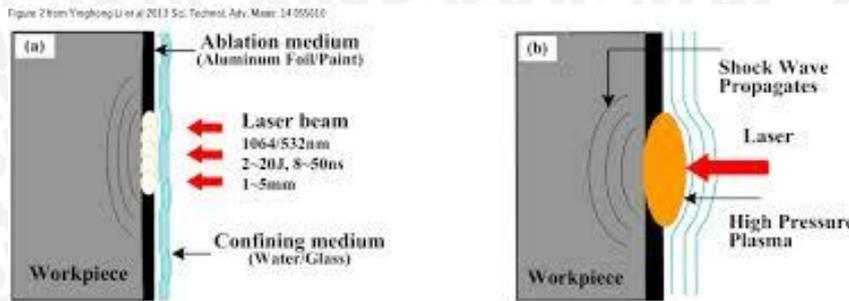


Gambar 2.9 Skema proses *Oil Jet Peening*
Sumber : Graspan (2009)

3. *Ultrasonic Shot Peening*

Ultrasonic shot peening (USP) merupakan metode pengerjaan dingin yang memanfaatkan frekuensi getaran gelombang *ultra sonic* untuk membombardir permukaan

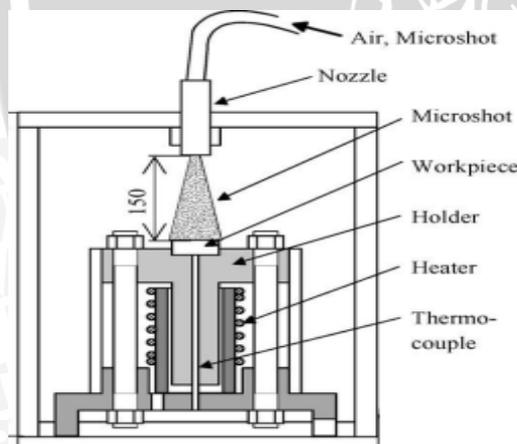
spesimen. Frekuensi getaran *ultra sonic* tersebut dapat mengakibatkan jumlah tumbukan yang tinggi dalam waktu singkat pada permukaan spesimen.



Gambar 2.10 Skema proses *Ultrasonic Shot Peening*
Sumber : Grispan (2009)

4. *Micro Shot Peening*

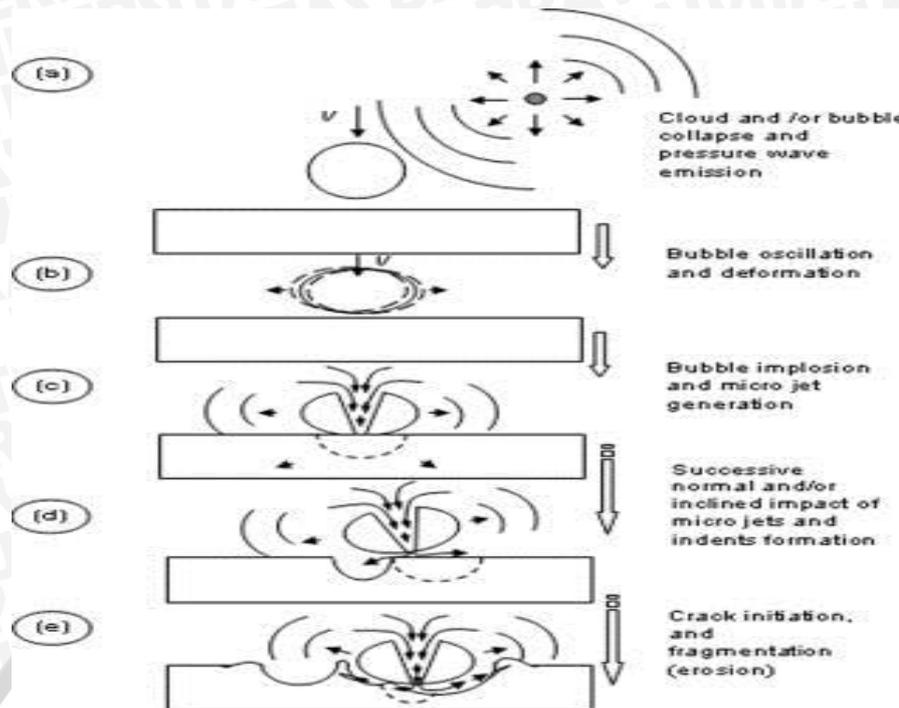
Micro Shot Peening merupakan salah satu metode pengerjaan dingin dimana bola-bola baja dengan diameter antara 0.03 sampai 0.5 mm ditembakkan ke permukaan spesimen menggunakan tekanan. Bola-bola tersebut (*shot media*) yang sering digunakan terbuat dari baja, keramik, titanium, besi, dan *Stainless Steel*.



Gambar 2.11 Skema proses *Micro Shot Peening*
Sumber : Haris (2013)

5. *Cavitation Shotless Peening*

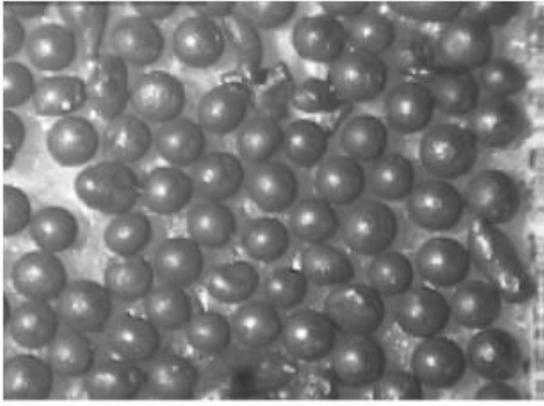
Cavitation shotless peening merupakan metode pengerjaan dingin pada permukaan spesimen dengan memanfaatkan proses kavitasi. Terbentuknya gelembung-gelembung air akibat proses kavitasi tersebut bertumbukan dengan permukaan spesimen. Metode *Cavitation Shotless Peening* merupakan proses *shot peening* tanpa menggunakan media.



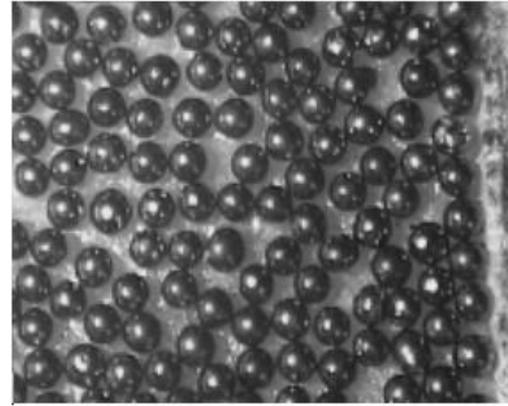
Gambar 2.12 Skema proses *Cavitation Shotless Peening*
 Sumber : Graspan (2009)

2.3.2 Shot Peening Media

Jika kita menginginkan hasil *shot peening* yang baik kita harus menggunakan media *shot peening* yang sesuai agar menghasilkan bentuk lekukan yang baik pada permukaan material. Bentuk media yang asimetris atau rusak justru dapat menyebabkan goresan pada permukaan yang justru dapat mempercepat terjadinya kegagalan *fatigue*. *Peening* media terbagi menjadi beberapa kategori, baik berdasarkan jenis material, ukuran dan kekerasan material. Namun media yang paling sering digunakan adalah *cast-steel* yang terbuat dari cairan baja yang dituang pada aliran air sehingga baja teratomisasi dan membentuk bola-bola berukuran kecil yang kemudian disortir lagi berdasarkan ukuran bola-bola tersebut agar standar penembakan bisa terjaga.



Newly formed cast steel



Cast Steel used for Shot media

Gambar 2.13 *Cast Steel*

Sumber : Champaigne, Jack (2001)

Selain butiran media yang kebanyakan terbuat dari logam. Butiran yang terbuat dari keramik ataupun kaca juga bisa digunakan khususnya pada pengerjaan dengan intensitas rendah. Penggunaan kaca atau keramik pada *shot peening* biasanya jika kita ingin mengurangi kontaminasi debu yang bersifat *ferrous* yang mungkin terjadi pada butiran logam dan dapat menyebabkan karat.

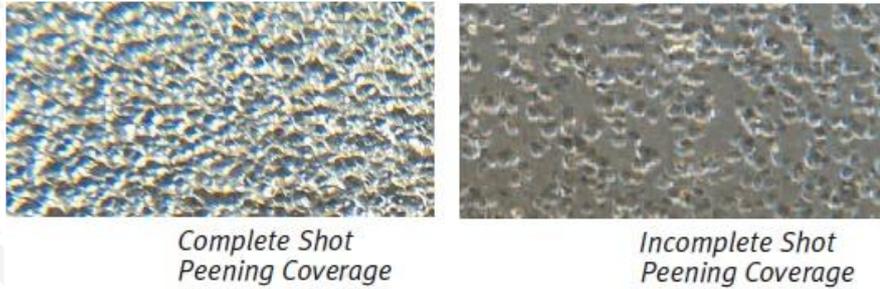
2.3.3 Kontrol Intensitas Penembakan (*Intensity Control*)

Intensitas penembakan *shot peening* adalah ukuran dari besar energi yang dihasilkan dari setiap benturan antara *shot peening* media dan material. Hal ini sangat perlu diperhatikan untuk memastikan hasil yang sama di setiap pengulangan penembakan, karena untuk mendapatkan zona plastis yang kita inginkan pada daerah di bawah permukaan material lekukan yang terdapat pada permukaan haruslah sesuai perhitungan, dan untuk menghasilkan lekukan yang sesuai kita perlu mengatur intensitas penembakan dengan mengontrol besaran aliran penembakan dan sudut benturan. Dengan memvariasikan kedua hal tersebut kita dapat mengatur besar kecilnya intensitas penembakan.

2.3.4 Kontrol Luasan Hasil Penembakan (*Coverage Control*)

Luasan penembakan yang merata sangat diperlukan dalam proses *shot peening*. Luasan penembakan adalah luas bidang permukaan yang terkena benturan dari proses penembakan dengan ditandai dengan terbentuknya lekukan-lekukan pada permukaan. Besaran luasan yang terbentuk pada permukaan haruslah menyeluruh. Karena bila terdapat bagian yang tidak terkena proses *shot peening* maka tegangan sisa tarik akan

tetap terjadi pada permukaan benda tersebut sehingga kegagalan *fatigue* dan *stres corrosion cracking* tetap dapat terjadi.



Gambar 2.14 *Shot peening coverage*
Sumber : Metal Improvement Company (2005)

2.4 Baja

Baja merupakan salah satu jenis material yang paling banyak digunakan dalam bidang industri. Penggunaannya yang luas ini selain dikarenakan nilai ekonominya, sifat-sifatnya yang bervariasi merupakan alasan utama mengapa baja banyak digunakan. Baja dapat dipadu menggunakan berbagai macam jenis unsur logam lainnya, oleh karena itulah sifat-sifat baja bervariasi mulai dari yang paling lunak hingga yang paling keras. Paduan yang dapat ditambahkan ke dalam struktur logam baja memang bervariasi namun unsur paduan utama yang paling berpengaruh dalam baja adalah unsur karbon.

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (*Fe*) dan karbon (*C*). Di mana besi merupakan unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2% hingga 2,14%, di mana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur penguat dalam struktur baja. Baja karbon itu sendiri diklasifikasikan menjadi 3 jenis berdasarkan persentase karbon yang terkandung dalam baja yakni sebagai berikut:

a. Baja Karbon Sangat Rendah

Baja karbon sangat rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja 0,05%-0,2% dan 0,4% mangan. Jenis material murah dengan kemampuan bentuk yang lebih mudah dibandingkan baja dengan kadar karbon yang lebih tinggi. Biasanya di beri perlakuan panas *carburizing* untuk meningkatkan kekerasan permukaan material setelah dibentuk. (O'Neal : 2012)

b. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja sekitar 0,2%-0,3%. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. (O'Neal : 2012)

c. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C – 0,59% C. Baja karbon ini memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Besarnya kandungan karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. (O'Neal : 2012)

d. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,6% C – 0,95% C. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, kekerasan serta kekuatan tarik yang sangat tinggi akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. (O'Neal : 2012)

e. Baja Karbon Super Tinggi

Baja karbon super tinggi memiliki kadar karbon sebesar 0,96% - 2,1 %. Dikarenakan oleh kandungan karbonnya yang tinggi menyebabkan material ini memiliki kekuatan material yang sangat tinggi. Dan juga dikarenakan tingkat kekakuannya yang tinggi material ini memerlukan perlakuan khusus. (O'Neal : 2012)

2.5 Aluminium

Aluminium merupakan jenis logam ringan yang banyak digunakan sebagai bahan struktur konstruksi permesinan. Tingkat penggunaan aluminium dalam dunia industri adalah yang kedua setelah besi dan baja. Meskipun tergolong logam *non-ferro* namun sifat aluminium yang sangat reaktif untuk dapat dipadu dengan logam lainnya

menyebabkan aluminium memiliki sifat-sifat mekanis yang baik. Namun sifat utama dari aluminium itu sendiri adalah ketahanan korosi yang baik dan konduktivitas listrik dan panas yang baik.

Aluminium berasal dari bijih aluminium yang biasa disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan dengan cara pemurnian bauksit yang kemudian menghasilkan Alumina atau oksida aluminium. Alumina tersebut kemudian di elektrolisa sehingga menghasilkan oksigen dan aluminium. Namun dikarenakan sifat reaktif aluminium sangat sulit mendapatkan aluminium murni. Tingkat kemurnian yang umumnya didapat dari proses elektrolisa Alumina mencapai 99,85%. dengan mengelektrolisa kembali dapat di dapatkan aluminium dengan kemurnian 99,99%.

Tabel 2.1 Sifat-sifat aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian (%)			
	99,99		> 99,0	
Masa jenis @20°C (g/cm ³)	2,6989		2,71	
Titik cair (°C)	660,2		653 - 657	
Panas Jenis @100°C (cal/g.°C)	0,2226		0,2297	
Hantaran listrik (%)	64,94		59 (dianil)	
Koefisien pemuaian (20°C – 100°C)	23,86 x 10 ⁻⁶		23,5 x 10 ⁻⁶	
Jenis kristal, konstanta kisi	Fcc, $\alpha = 4.013 \text{ kX}$		Fcc, $\alpha = 4.04 \text{ kX}$	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Sifat Mekanik				
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

Sumber : Tata Surdia (2000)

2.6 Titanium

Titanium adalah salah satu jenis logam refraktori (tahan api) yang bersifat ringan, kuat dan tahan korosi. Memiliki ciri visual yang berkilau dengan warna putih metalik keperakan. Pada tabel periodik titanium memiliki simbol *Ti* dan berada dalam golongan IVB dengan nomor atom 22. Titanium merupakan unsur terbanyak kesembilan yang

terdapat pada kerak bumi. Titanium juga hampir selalu ada dalam sedimen batuan. Meskipun jumlah titanium cukup melimpah di bumi, namun untuk mendapatkan unsur titanium murni diperlukan proses panjang dalam proses ekstraksi sedimen batuan. Hal inilah yang menyebabkan nilai jual titanium tergolong mahal. Bijih atau batuan yang mengandung titanium dan gas Cl_2 direaksikan pada temperatur tinggi menghasilkan TiCl_4 , kemudian direduksi menggunakan magnesium untuk menghasilkan Titanium spon, kemudian dicairkan di dapur busur listrik di dalam vakum atau dengan menggunakan lingkungan gas mulia untuk menghasilkan titanium ingot. Selanjutnya ingot ditempa pada temperatur $800^\circ\text{C} - 1000^\circ\text{C}$ dan di rol pada temperatur $700^\circ\text{C} - 800^\circ\text{C}$ yang kemudian dapat dibentuk menjadi bahan yang akan dikerjakan selanjutnya.

Titanium memiliki 2 keuntungan utama yaitu ketahanan korosi yang tinggi dan rasio kekuatan terhadap densitasnya yang tinggi di antara logam lain. Pada kondisi murni, titanium memiliki kekuatan yang sama kuat dengan beberapa baja, namun memiliki berat yang jauh lebih ringan. Sedangkan sifat titanium yang tahan terhadap korosi dikarenakan adanya fenomena pasivasi (*passivate*). Pasivasi adalah fenomena di mana terbentuknya lapisan tipis pada permukaan yang mencegah penetrasi korosi yang disebabkan oleh mineral asam maupun klorida. Apabila titanium terpapar udara maka akan terbentuk lapisan TiO , Ti_2O dan TiO_2 , sedangkan hidrogen yang terbentuk dari uap air di udara akan di absorb oleh titanium.

Tabel 2.2 Sifat fisik dan mekanik Titanium

	Sifat-sifat	keterangan
Fisik	Densitas (g/cm^3)	4,51
	Titik Cair ($^\circ\text{C}$)	1668 ± 10
	Panas Jenis @ 25°C ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$)	0.5223
	Konduktivitas Termal ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)	11,4
Mekanik	Kekerasan Brinell	70 – 74
	Kekuatan Tarik (MPa)	240
	Modulus Elastisitas (GPa)	120
	Poisson Rasio	0,361

Sumber : Alok Nayar (1997)

Titik cair dari titanium dapat melebihi 1660°C , meskipun kebanyakan produk titanium paduan berada di bawah 538°C . Titanium memiliki 2 jenis struktur kristal yaitu bcc (*Body centered cubic*) dan hcp (*hexagonal closed-packed*) dengan titik transformasi berada pada 882°C dari α Ti (hcp) \leftrightarrow β Ti (bcc) di mana α berada pada temperatur rendah.

2.7 Magnesium

Magnesium merupakan jenis logam yang paling ringan di antara logam-logam lain yang sering digunakan di industri pesawat terbang. Dengan berat jenis rata-rata sekitar $1,8 \text{ g/cm}^3$ atau kurang lebih $1/3$ dari aluminium. Magnesium sendiri merupakan unsur logam terbanyak nomor 3 yang ada di kerak bumi namun sangatlah jarang ditemukan dalam bentuk murni karena sifatnya yang mudah terikat dengan unsur lain. Kebanyakan magnesium berasal dari air laut yang terdiri dari 0,13 persen elemen dalam bentuk magnesium klorida. Hal ini juga dapat ditemukan dalam mineral alami seperti dolomit dan magnesit dalam bentuk magnesium oksida. Magnesium dapat diproduksi melalui beberapa metode yang berbeda seperti metode elektrolisis, metode *thermal-reduction* atau metode *Pidgeon* paling umum digunakan.

Metode elektrolisis terdiri dari pencampuran air laut dengan kapur dalam tangki pengendapan. Endapan magnesium hidroksida jatuh ke bagian bawah tangki, disaring, dan dicampur dengan asam klorida. Hasil pencampuran tersebut kemudian terkena elektrolisis yang menghasilkan logam magnesium. Logam tersebut dicetak ke dalam bentuk ingot untuk diproses lebih lanjut sesuai kebutuhan.

Dalam metode *thermal-reduction*, bijih yang mengandung dolomit, magnesit dan magnesium dipecah menggunakan zat pereduksi. Campuran kemudian dipanaskan dalam ruang vakum hingga membentuk uap magnesium yang kemudian mengembun menjadi kristal. Kristal-kristal tersebut dilelehkan, dihaluskan kemudian dituangkan ke dalam ingot untuk diproses lebih lanjut.

Proses *Pidgeon* ini paling sering digunakan untuk produksi magnesium karena operasi yang relatif mudah, fleksibel dan biaya yang rendah. Namun proses ini membutuhkan konsumsi energi yang tinggi dan tingkat produktivitas yang rendah. Dalam proses ini, magnesium didapatkan dari kondensor yang berada di luar tungku. Magnesium dengan tingkat kemurnian tinggi dapat ditemukan dari kondensor karena tekanan uap menekan magnesium yang terkontaminasi kotoran di bawah tungku.

Tabel 2.3 Sifat fisik dan mekanik Magnesium

	Sifat-sifat	keterangan
Fisik	Densitas (g/cm^3)	1,74
	Titik Cair ($^{\circ}\text{C}$)	$648,3 \pm 10$
	Panas Jenis @ 25°C ($\text{J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	1,025
	Konduktivitas Termal ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)	159
Mekanik	Kekerasan Brinell	40
	Kekuatan Tarik (MPa)	196
	Modulus Elastisitas (GPa)	44
	Poisson Rasio	0,35

Sumber : Alok Nayar (1997)

Industri kedirgantaraan memiliki sejarah panjang dalam penggunaan logam sebagai konstruksi bagian-bagian pesawat terbang. Hal tersebut diperlukan untuk menurunkan bobot pesawat terbang, serta untuk membantu dalam mengurangi emisi dan meningkatkan efisiensi bahan bakar. Perubahan ini akan mengakibatkan biaya operasional yang lebih rendah juga. Magnesium merupakan bahan yang ideal untuk digunakan dalam aplikasi ini karena keterbatasan penelitian dalam pengurangan berat aluminium, tingginya biaya FML (*Fiber Metal Laminate*), kekuatan *impact* yang buruk, dan sifat kerusakan plastik ketika mengalami suhu ekstrim. Magnesium dapat ditemukan di pendorong belakang untuk Boeing 737, 747, 757, dan 767 serta mesin dan pesawat terbang dan rumah transmisi helikopter.

2.8 Nikel

Nikel merupakan salah satu unsur logam yang berwarna putih keperakan, merupakan unsur terbanyak kelima yang ada di kerak bumi. Memiliki simbol *Ni* dan nomor atom 28 pada tabel periodik. Nikel murni sangatlah reaktif secara kimiawi namun dalam bentuk yang besar akan sangat sulit bereaksi dengan udara sekitar dikarenakan terbentuknya lapisan pelindung oksida pada permukaannya. Namun Nikel tetap sangat reaktif terhadap oksigen. Oleh karena itu kebanyakan Nikel diproduksi dalam bentuk serbuk untuk memaksimalkan luasan permukaan di mana reaksi kimia terjadi. Karena kecepatan reaksi oksida Nikel yang rendah pada temperatur ruangan, Nikel dianggap sebagai logam tahan

korosi. Oleh karena itu Nikel digunakan sebagai paduan besi dan kuningan, teknologi pelapisan kimia, dan manufaktur logam paduan dengan warna *silver*.

Nikel merupakan satu dari empat elemen yang bersifat *ferromagnetic* pada temperatur ruangan. Nikel biasa didapatkan dari proses elektrolisis. Namun dinamakan *Nikel-Mond* jika didapat dengan cara pirolisis dari Nikel karbonil dan dibentuk dalam bentuk pelet. Mempunyai sel berbentuk fcc (*face centered cubic*) dengan masa jenis 8,7, kekuatan tarik sebesar 45-55 kgf/mm² setelah dianil, perpanjangan 40-50% dan kekerasan 80-90 HB.

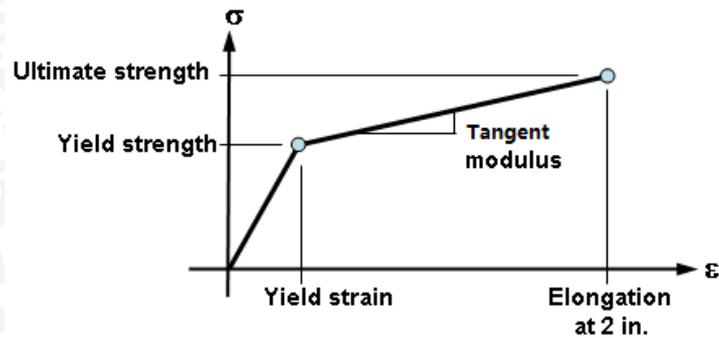
Tabel 2.4 Sifat fisik dan mekanik Nikel

	Sifat-sifat	Keterangan
Fisik	Densitas (g/cm ³)	8,88
	Titik Cair (°C)	1455 ± 10
	Panas Jenis @25°C (J/g . °C)	0,460
	Konduktivitas Termal (W/m . K)	60,7
Mekanik	Kekerasan Brinell	80-90
	Kekuatan Tarik (MPa)	45
	Modulus Elastisitas (GPa)	207
	Poisson Rasio	0,31

Sumber : Alok Nayar (1997)

2.9 Pemodelan Material *Bilinear Isotropic Hardening*

Bilinear Isotropic hardening merupakan salah satu jenis pemodelan material yang biasa digunakan dalam simulasi komputer. Pada penggunaannya pemodelan jenis ini membutuhkan 2 buah nilai yang perlu diketahui, yaitu *yield strenght* dan *tangent nodulus*. Yield strenght merupakan titik di mana tegangan plastis mulai terjadi dan tangent modulus merupakan kemiringan kurva tegangan-regangan yang terjadi dari titik yield strenght hingga ultimate strenght.



Gambar 2.15 Pemodelan Material Bilinear Isotropic Hardening

Nilai dari tangent modulus dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_T = \frac{\sigma_{ultimate} - \sigma_{yield}}{\frac{Elongation\ at\ 2\ in}{100} - \epsilon_{yield}} \quad (2-4)$$

$$\epsilon_{yield} = \frac{\sigma_{yield}}{Modulus\ Elasticity} \quad (2-5)$$

Keterangan :

E_T = Tangent Modulus (Pa)

ϵ_{yield} = Yield Strain (%)

$\sigma_{ultimate}$ = Ultimate Strenght (Pa)

σ_{yield} = Yield Strenght (Pa)

2.10 Software analisis berbasis elemen hingga

Analisis berbasis elemen hingga biasa digunakan untuk permodelan yang berbasis *finite elemen metho ds* dengan solusi numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan *engineering* seperti analisa struktur, fenomena elektromagnetis, mekanika fluida maupun perpindahan kalor.

Untuk menyelesaikan suatu persoalan *engineering* tersebut proses yang harus dilakukan pada *software analisis berbasis elemen hingga* terbagi menjadi 3 bagian utama, yaitu :

1. Preprocessing

Merupakan tahap awal dari permodelan di mana pada tahap ini kita membuat permodelan fisik dari permasalahan yang akan kita selesaikan. Pada tahap ini juga kita menentukan parameter-parameter yang nantinya berlaku selama proses simulasi berjalan. Contohnya seperti :

- Menentukan *Model Material*
- Menentukan *keypoint, Lines, area, atau volume*
- Menentukan kondisi batas (*boundary condition*)
- Menentukan besar dan jenis gaya yang bekerja pada model
- Melakukan *meshing* pada model sesuai kebutuhan simulasi
- Menentukan jenis analisa yang ingin digunakan

2. Simulation

Pada tahap ini dilakukan perhitungan numerik terhadap permasalahan yang sudah ditentukan pada proses *preprocessing*. Hasil dari perhitungan akan tersimpan secara biner dan dapat diolah pada tahap *postprocessing*.

3. Postprocessing

Merupakan tahap akhir dari simulasi di mana hasil perhitungan tahap *simulation* ditampilkan. Pada tahap ini juga terdapat berbagai macam hal yang dapat kita amati seperti :

- Daftar perpindahan pada tiap-tiap node/*mesh*
- Elemen gaya dan momen yang terbentuk
- Plot defleksi
- *Stress countour diagram*

2.11 Hipotesis

Shot peening merupakan salah satu metode *cold working* yang bertujuan untuk meningkatkan *fatigue life* dari suatu material. Pengaruh *shot peening* pada material adalah untuk menimbulkan deformasi plastis yang disengaja pada permukaan material dan memaksakan terjadinya tegangan sisa pada permukaan. Material properties seperti tegangan yield dan modulus elastisitas sangat berpengaruh pada besar tegangan sisa yang dihasilkan. Semakin kaku suatu material maka kemampuan menyimpan tegangan sisa akan semakin baik dan tegangan sisa tekan maksimum akan berada di sekitar permukaan sehingga ketahanan *fatigue* akan semakin baik.