

repository.ub.ac.id

# PENGARUH VARIASI BASE MATERIAL TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN SISA PADA PROSES *SHOT PEENING* DENGAN SIMULASI KOMPUTER

**Dio Akbar, Khairul Anam, Anindito Purnowidodo**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Email : [105060207111043@mail.ub.ac.id](mailto:105060207111043@mail.ub.ac.id)

## ABSTRAK

*Shot peening* merupakan salah satu jenis *cold working* yang bertujuan untuk memperpanjang *Fatigue Life* pada kebanyakan jenis logam dengan cara menembakkan butiran-butiran yang berbentuk bulat untuk menghasilkan tegangan sisa tekan pada permukaan logam. Keuntungan utama dari proses *shot peening* adalah semua tegangan yang dihasilkan pada permukaan bersifat tegangan tekan, dan hampir semua kegagalan berasal dari permukaan baik kelelahan maupun tegangan korosi. Dengan dilakukannya proses *shot peening* yang memberikan tegangan tekan yang dapat meningkatkan usia komponen secara struktural. Analisis berbasis elemen hingga biasa digunakan untuk permodelan yang berbasis *finite element methods* dengan solusi numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan *engineering* seperti analisa struktur, fenomena elektromagnetis, mekanika fluida maupun perpindahan kalor. penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besar tegangan sisa yang dihasilkan oleh proses *shot peening* pada tiap-tiap jenis material menggunakan simulasi komputer. Dengan variasi material berupa *Low-Carbon Steel AISI 1010, Aluminium Alloy 2014-T451, Titanium Grade 1, Stainless Steel 304, Nickel Alloy 200, Magnesium Alloy WE54-T6*. Dengan shot media berupa *Stainless steel 420F ball Ø 0.4 mm, shot velocity 50 m/s*. tegangan sisa terbesar terjadi pada material *Carbon Steel* yaitu sebesar 260,03 MPa pada kedalaman 0,1 mm di ikuti dengan *stainless steel* dengan nilai tegangan sisa sebesar 231,1 MPa pada kedalaman 0,1 mm. sedangkan *Nickel alloy* memiliki kedalaman tegangan sisa yang lebih baik yaitu pada kedalaman 0,15 mm dengan nilai tegangan sisa sebesar 223,05 MPa. Aluminium, magnesium, dan titanium memiliki nilai tegangan sisa terbesar pada titik 0 mm atau pada permukaan benda dengan nilai masing-masing 241,13 MPa untuk aluminium, 172,83 MPa pada magnesium dan 226,15 MPa pada titanium.

**Keywords** : *Shot peening*, Tegangan Sisa, Tegangan Utama

## PENDAHULUAN

Industri Pesawat terbang merupakan salah satu sarana transportasi yang paling banyak digunakan di era modern saat ini. Sama halnya dengan alat transportasi lain, hal yang paling diutamakan dalam pembuatan desain alat transportasi adalah keselamatan penumpang. Dan secara statistik transportasi udara merupakan alat transportasi dengan jumlah kecelakaan terkecil jika dibandingkan dengan jenis transportasi lainnya. Berbagai macam cara telah dilakukan dalam mencari desain terbaik demi menunjang faktor keselamatan

penerbangan. Salah satu yang sampai sekarang tidak henti dilakukan adalah pembaruan jenis material yang digunakan dalam desain pesawat terbang.

Faktor utama yang menyebabkan terjadinya kecelakaan pesawat adalah kegagalan komponen yang diakibatkan cuaca ekstrem. Guncangan berlebih yang biasa terjadi ketika pesawat terbang melintasi cuaca ekstrem mengakibatkan beban berlebih pada komponen pesawat terutama pada bodi pesawat yang berkontak langsung dengan lingkungan

sekitar. Beban secara terus-menerus yang dialami material komponen tersebut sudah pasti menyebabkan *Fatigue Life* material tersebut berkurang. dan apabila hal tersebut dibiarkan tanpa ada perawatan rutin akan menyebabkan retakan yang berujung pada kegagalan material komponen tersebut. Dan kegagalan ini jelas sangat dihindari jangankan sampai kegagalan tersebut terjadi ketika pesawat terbang sedang mengudara.

*Shot Peening* merupakan salah satu jenis *Cold working* yang bertujuan untuk memperpanjang *Fatigue Life* pada kebanyakan jenis logam dengan cara menembakkan butiran-butiran yang berbentuk bulat untuk menghasilkan tegangan sisa tekan pada permukaan logam [1]. Keuntungan utama dari proses *Shot peening* adalah semua tegangan yang dihasilkan pada permukaan bersifat tegangan tekan, dan hampir semua kegagalan berasal dari permukaan baik kelelahan maupun tegangan korosi [2]. Dengan dilakukannya proses *shot peening* yang memberikan tegangan tekan yang dapat meningkatkan usia komponen secara struktural [1].

Selama 30 tahun terakhir riset tentang bagaimana menerapkan teknologi *shot peening* pada berbagai macam jenis material dan berbagai macam tujuan penggunaannya banyak dilakukan. Kebanyakan dari penelitian tentang *shot peening* dilakukan secara eksperimental di mana persiapan alat dan bahan membutuhkan waktu dan biaya yang cukup banyak, untuk meminimalisasi faktor biaya sejak awal tahun 2000-an banyak penelitian yang dilakukan dengan simulasi komputer berdasarkan *finite element method* seperti yang dilakukan oleh M. Meo dan R. Vignjevic. yang menggunakan *finite element methods* untuk meneliti besar tegangan sisa yang dihasilkan oleh proses *shot peening* pada sambungan las. Dengan hasil yang menunjukkan bahwa

proses *shot peening* meningkatkan kinerja sambungan las secara signifikan [3]. Taehyung Kim, Hyungyil Lee, Minsoo Kim dan Sunghwan Jung. (2011) melakukan evaluasi tentang pengaruh sudut *multi-shot impact* pada *shot peening* terhadap tegangan sisa yang dihasilkan. menggunakan variasi sudut  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $75^\circ$  dengan hasil menunjukkan bahwa sudut  $75^\circ$  menghasilkan tegangan sisa tekan dan kedalaman deformasi yang terbaik [4].

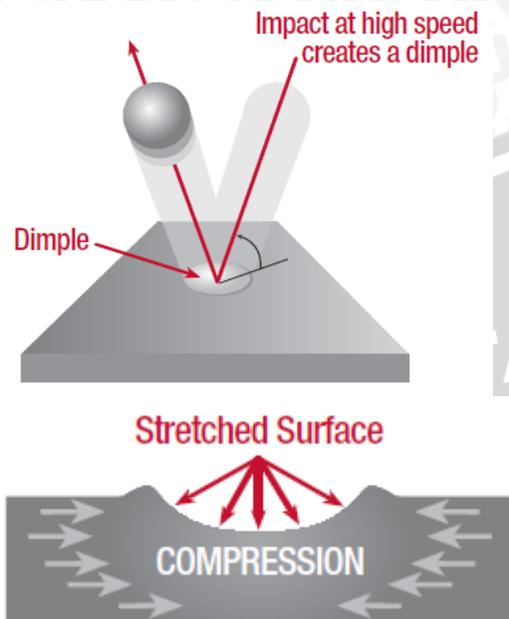
Penelitian yang sudah dilakukan kebanyakan mengarah kepada pencarian metode *shot peening* yang terbaik dengan memvariasikan variabel-variabel yang berlaku pada mesin *shoot peening* itu sendiri. Seperti sudut penembakan, jenis material butiran, ukuran butiran, dan lain-lain. Sangat sedikit penelitian yang membandingkan besar pengaruh *shot peening* terhadap tegangan sisa yang dihasilkan tiap-tiap material yang berbeda. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi material terhadap deformasi plastis dan besar tegangan sisa yang dihasilkan oleh proses *shot peening*.

## TINJAUAN PUSTAKA

*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 [2].

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 [5]. Lekukan tumpang tindih yang dihasilkan dari benturan berulang-ulang akan menghasilkan tegangan sisa tekan yang

lebih besar [4]. Tegangan sisa tekan yang dapat dihasilkan dari proses *shot peening* setidaknya sebesar setengah dari kekuatan *yield* dari material tersebut.

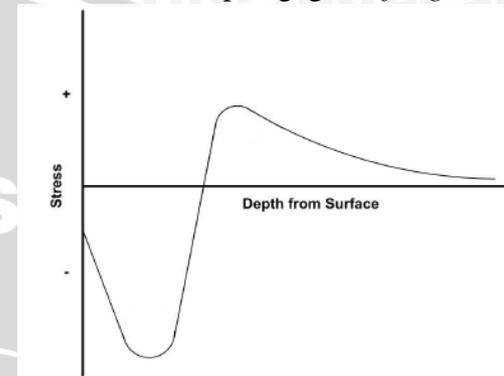


Gambar 1 Mekanisme *yielding* pada titik benturan [2]

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 [2]. Dan juga seperti yang kita tahu bahwa inisiasi retakan tidak akan pernah terjadi pada daerah yang mengalami tegangan tekan [1]. 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 [2]. Namun pada beberapa jenis material juga akan mengalami meningkatnya nilai kekerasan permukaan yang disebabkan oleh proses *shot peening* [6].

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 nilai tegangan maksimum yang terjadi tepat pada bagian bawah permukaan [6]. Di mana semakin besar nilai maksimal tegangan sisa yang dihasilkan maka semakin baik ketahanan material terhadap kegagalan *fatigue*.



Gambar 2 Profil Tegangan Pada Proses *Shot peening* [6]

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 material mengalami proses *shot peening*, permukaan material akan mengalami suatu tegangan utuh dari beban yang terjadi dan tegangan sisa dari proses *shot peening* [2].

*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].

**METODE PENELITIAN**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental semu di mana seluruh variabel yang digunakan dalam penelitian ini diimplementasikan ke dalam bentuk elemen hingga untuk mengetahui besar tegangan sisa yang dihasilkan oleh proses *shot peening* pada tiap-tiap jenis material menggunakan simulasi komputer.

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah :

a) Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis *base material* yang digunakan yaitu :

Material Properties	Variasi Material					
	Aluminum	Carbon Steel	Magnesium	Nickel	Stainless Steel	Titanium
Density ( $\rho$ ) (g/mm <sup>3</sup> )	2,80	7,87	1,85	8,9	8	4,51
Modulus Elasticity (E) (GPa)	72,4	205	44,5	207	193	100
Tensile Strength, Yield ( $\sigma_y$ ) (MPa)	250	305	225	148	215	240
Tensile Strength, Ultimate ( $\sigma_u$ ) (MPa)	400	365	280	462	505	330
Elongation (e) (%)	14	20	4	47	70	30
Poisson's ratio ( $\nu$ )	0,33	0,29	0,27	0,31	0,29	0,34

Tabel 1 Material Properties

b) Variabel Terikat

Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah distribusi tegangan sisa yang dihasilkan dari proses *shot peening*.

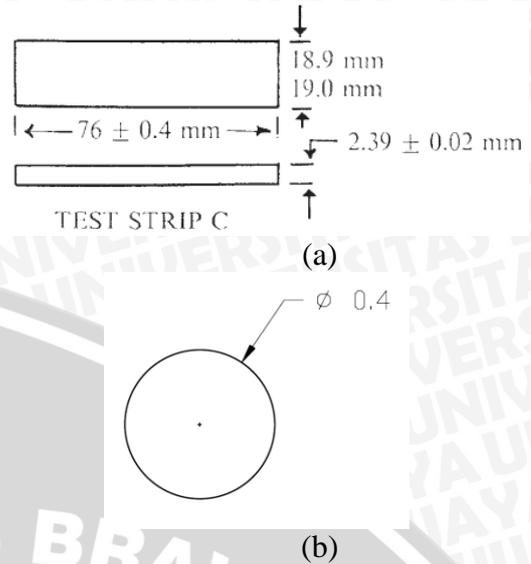
c) Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah :

- Shot peening type : single shot
- Shot Media : Stainless Steel Ball Ø 0.4 mm
- Shot Velocity : 50 m/s

**Spesimen Penelitian**

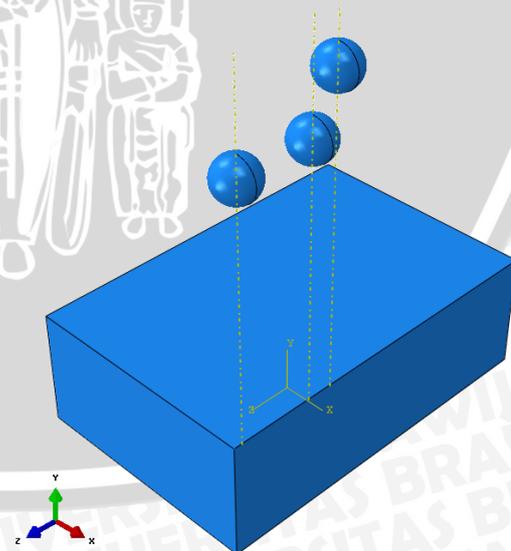
Pada simulasi ini menggunakan 2 jenis benda berupa bola sebagai *shot media* dan balok sebagai *base material*.



Gambar 3 : Geometri (a) *Base Material* (b) *Shot Media*

**Rancangan Percobaan**

Pada proses simulasi ini penulis melakukan *single shot peening* dengan jumlah penembakan sebanyak 3 kali. Menggunakan 1 *base material* sebagai master surface dan 3 buah *shot media* dengan spesifikasi yang sama namun titik penembakan yang berbeda.



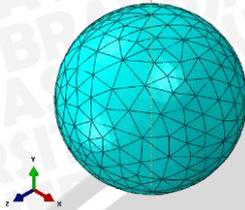
Gambar 4 Rancangan percobaan

**Meshing**

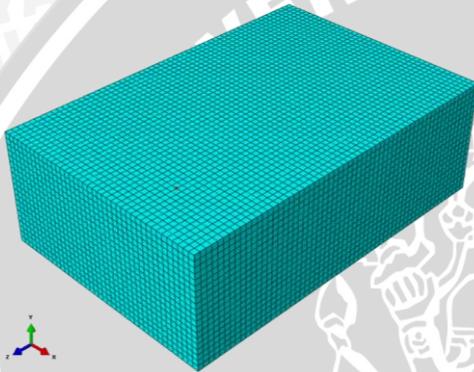
Pada proses simulasi ini penulis menggunakan 2 jenis *meshing* yang berbeda pada 2 buah benda kerja. Pada



Shot media yang berupa bola penulis menggunakan jenis *mesh* tetragonal, *free distribution* dengan *seed* sebesar 0.1 mm. Sedangkan untuk *base material*, penulis menggunakan *mesh* hexagonal, *structured distribution* dengan *seed* sebesar 0.05 mm.



(a)

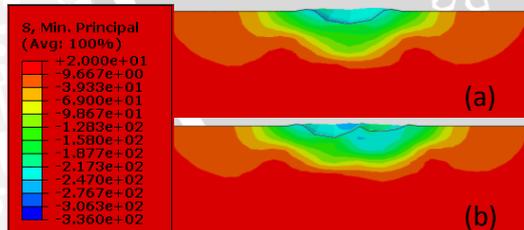


(b)

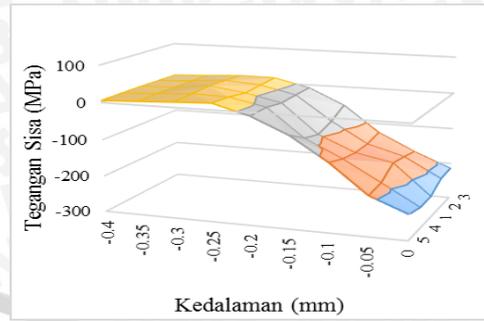
Gambar 5 : Bentuk Meshing (a) Shot Media , (b) Base Material

**HASIL DAN PEMBAHASAN**  
**Data hasil distribusi tegangan sisa**

**a. Aluminium**

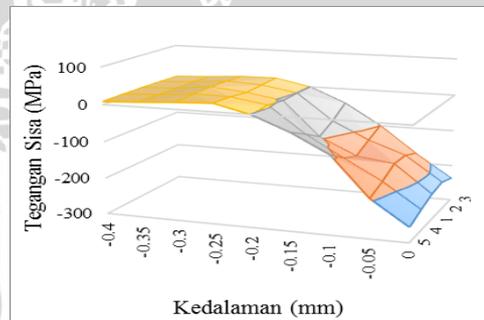


Gambar 6 Distribusi tegangan sisa pada titik penembakan 1 (a) pada titik penembakan 2 dan 3 (b) pada material Aluminium

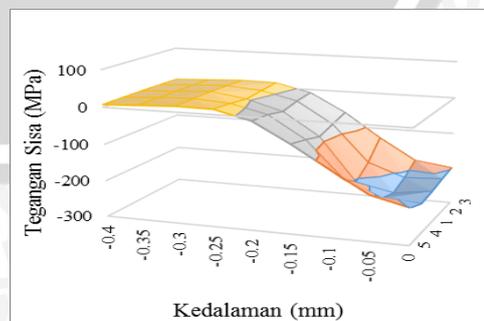


Gambar 7 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 aluminium.

Pada material aluminium dapat terlihat bahwa tegangan sisa yang terjadi di sekitar titik penembakan berupa tegangan sisa tekan yang kemudian menjadi tegangan sisa tarik pada kedalaman tertentu. Nilai tegangan sisa tekan terbesar terjadi pada titik penembakan 1 sebesar 241,13 MPa. Tegangan sisa tekan terdistribusi hingga kedalaman 0.15 mm dari permukaan hingga akhirnya menjadi tegangan sisa tarik pada titik 0,2 mm.



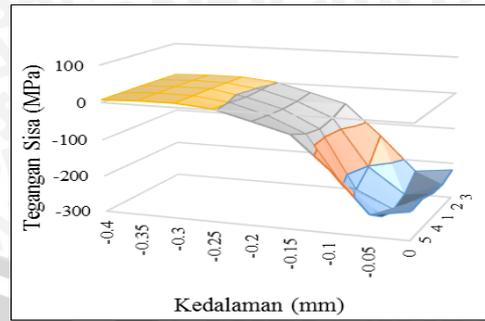
Gambar 8 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 2 aluminium.



Gambar 9 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 3 aluminium.

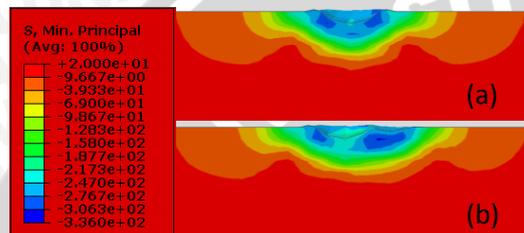


Titik penembakan 2 mendapat perlakuan yang sama dengan titik penembakan 1 hingga pada akhirnya berubah akibat adanya tumbukan tambahan oleh bola 3 yang menembak pada titik penembakan 3, Penembakan ke 3 menyebabkan tegangan sisa tekan pada titik penembakan 2 berkurang dari 241,13 MPa menjadi 228,75 MPa. Sedangkan pada titik penembakan 3 tegangan sisa tekan tertinggi terjadi pada kedalaman 0,03 mm yaitu sebesar 227,18 MPa.



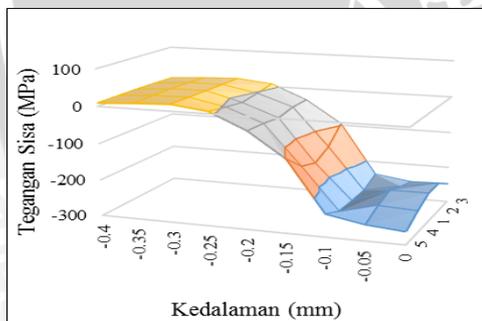
Gambar 13 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 Carbon Steel.

**b. Carbon Steel**



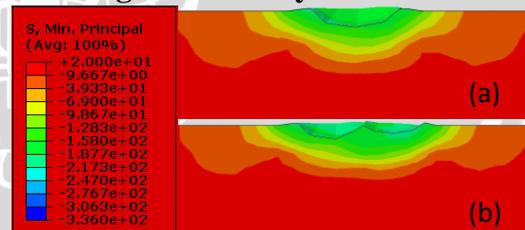
Gambar 10 Distribusi tegangan sisa pada titik penembakan 1 (a) pada titik penembakan 2 dan 3 (b) pada material Carbon Steel

Pada material carbon Steel tegangan sisa tekan maksimum yang dihasilkan terjadi pada titik penembakan 3 yaitu sebesar 287,56 MPa pada kedalaman 0,03 mm. pada titik penembakan 1 tegangan sisa tekan terbesar terjadi pada kedalaman 0,05 mm yaitu sebesar 260,03 MPa. Namun akibat penembakan ketiga tegangan sisa tekan pada titik penembakan 2 yang sebelumnya sama dengan titik penembakan 1 mengalami perubahan menjadi 225,86 MPa pada permukaan titik penembakan 2 yang sekaligus menjadi titik dengan nilai tegangan sisa terbesar pada titik penembakan 2.

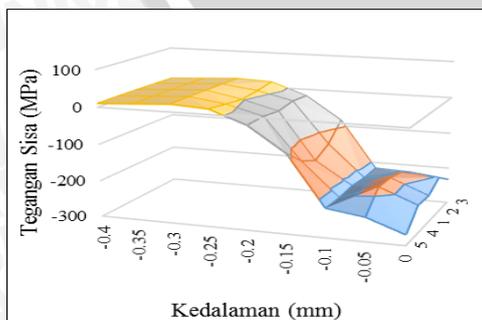


Gambar 11 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 Carbon Steel.

**c. Magnesium Alloy**

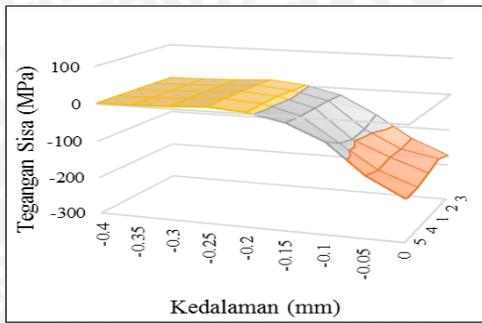


Gambar 14 Distribusi tegangan sisa pada titik penembakan 1 (a) pada titik penembakan 2 dan 3 (b) pada material Magnesium Alloy

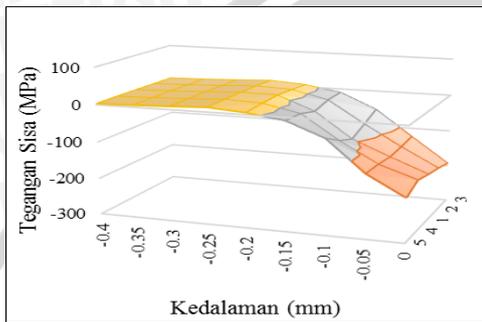


Gambar 12 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 2 Carbon Steel.

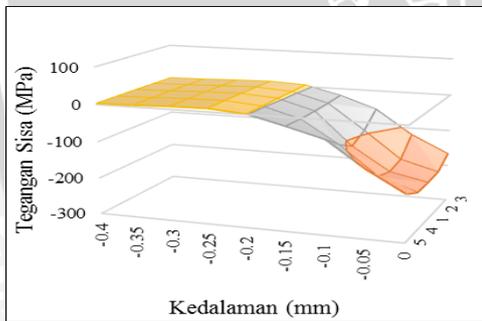




Gambar 15 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 Magnesium.



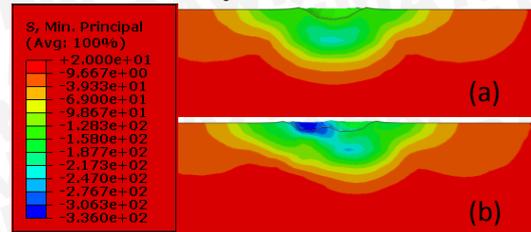
Gambar 16 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 2 Magnesium.



Gambar 17 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 3 Magnesium.

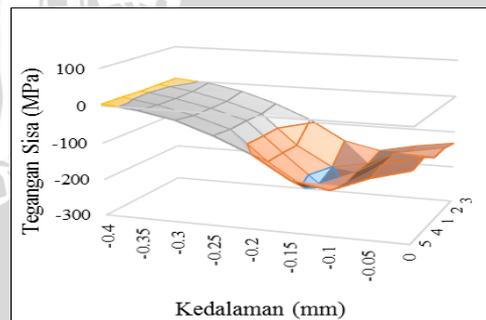
Pada material magnesium alloy tegangan sisa tekan maksimum terjadi pada permukaan titik penembakan 3 yaitu sebesar 196,76 MPa. Pada titik penembakan 1 tegangan sisa maksimum juga terjadi di permukaan yaitu sebesar 172,83 MPa demikian juga pada titik penembakan 2 yang tegangan sisa tekan maksimumnya terdapat pada permukaan titik penembakan sebesar 173,77 MPa.

#### d. Nickel Alloy

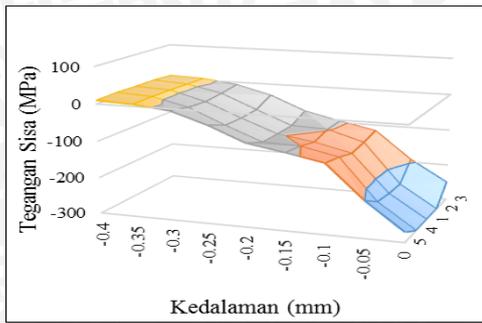


Gambar 18 Distribusi tegangan sisa pada titik penembakan 1 (a) pada titik penembakan 2 dan 3 (b) pada material Nickel.

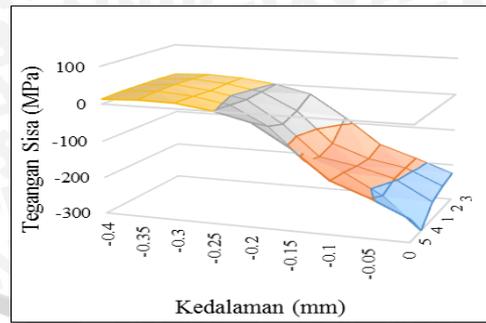
Pada material Nickel Alloy tegangan sisa tekan maksimum terjadi pada permukaan titik penembakan 2 yaitu sebesar 317,99 MPa yang terjadi setelah mendapat pengaruh tumbukan bola 3 yang di mana tegangan sisa tekan awal pada permukaan titik penembakan 2 adalah 125,13 MPa. Pada material Nickel distribusi kedalaman tegangan sisa tekan mencapai 0,3 mm hingga akhirnya mencapai tegangan sisa tarik pada kedalaman 0,35 mm. pada titik penembakan 1 tegangan sisa maksimum terjadi pada kedalaman 0,1 mm yaitu sebesar 223,05 MPa sedangkan pada titik penembakan 3 tegangan sisa maksimum terjadi pada kedalaman 0,1 mm sebesar 241,51 MPa.



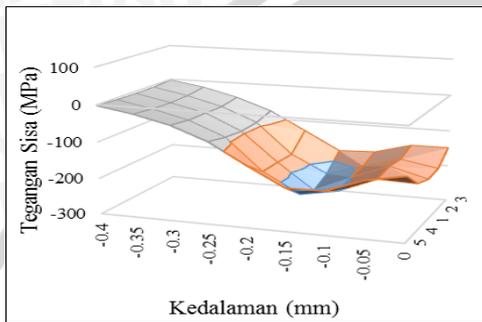
Gambar 19 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 Nickel.



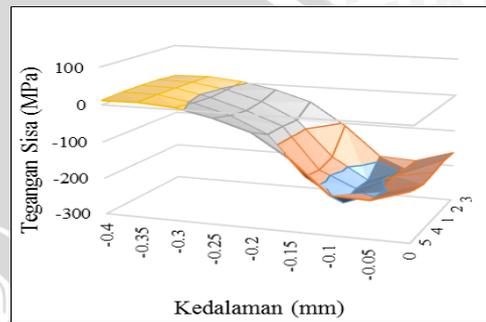
Gambar 20 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 2 Nickel.



Gambar 24 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 2 Stainless Steel.

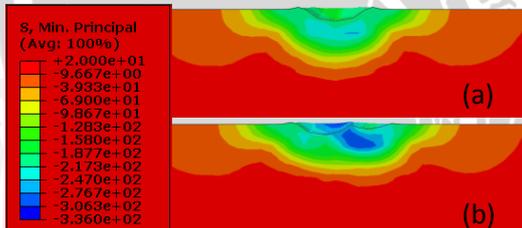


Gambar 21 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 3 Nickel.



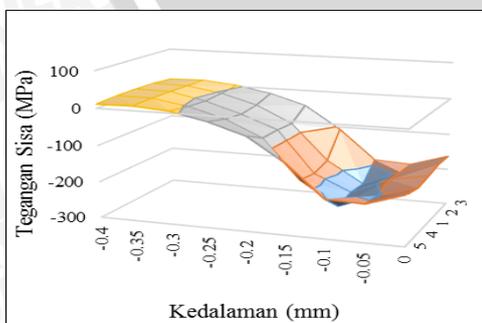
Gambar 25 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 3 Stainless Steel.

**e. Stainless Steel**



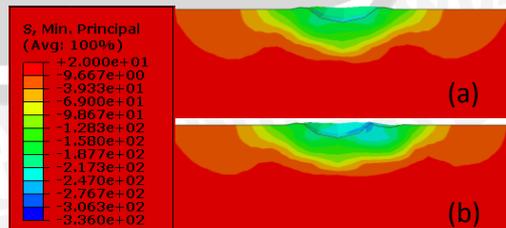
Gambar 22 Distribusi tegangan sisa pada titik penembakan 1 (a) pada titik penembakan 2 dan 3 (b) pada material Stainless Steel

Pada material Stainless Steel tegangan sisa tekan maksimum terjadi pada titik penembakan 3 sebesar 288,75 MPa pada kedalaman 0,07 mm. Penembakan ketiga menyebabkan tegangan sisa tekan pada titik penembakan 2 berkurang, yang semula sebesar 231,01 MPa pada kedalaman 0,05 mm menjadi 170,4 MPa. Dan tegangan sisa tekan maksimum berpindah ke permukaan titik penembakan 2 yaitu sebesar 251,93 MPa.



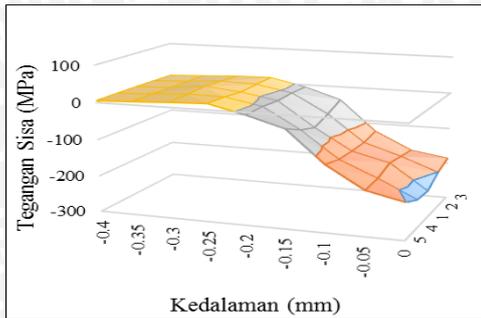
Gambar 23 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 Stainless Steel.

**f. Titanium**

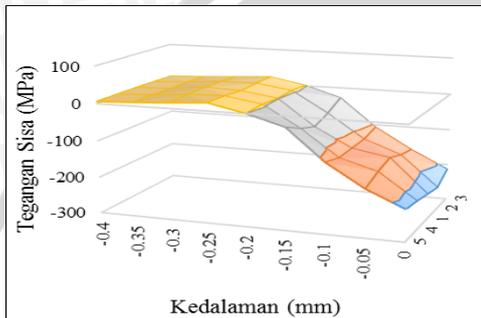


Gambar 26 Distribusi tegangan sisa pada titik penembakan 1 (a) pada titik penembakan 2 dan 3 (b) pada material Titanium

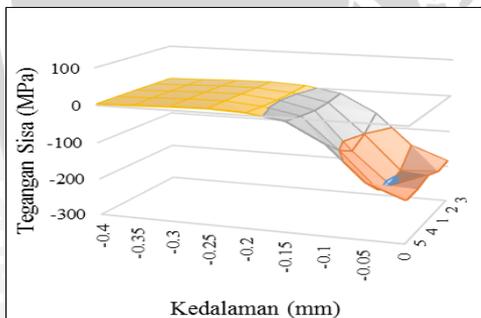




Gambar 27 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 Titanium.



Gambar 28 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 2 Titanium.

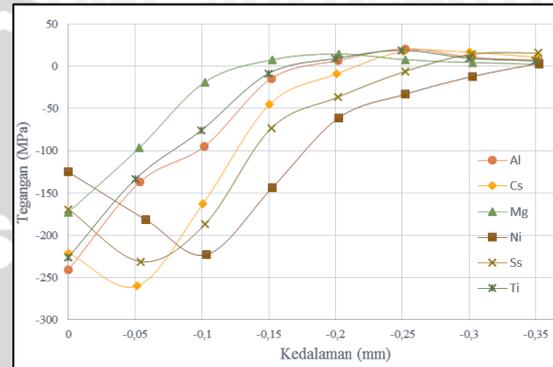


Gambar 29 Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 3 Titanium.

Pada material titanium tegangan sisa terbesar terjadi pada permukaan titik penembakan 2 yaitu sebesar 230,73 MPa hal ini terjadi setelah titik penembakan kedua terpengaruh tumbukan tambahan dari penembakan ketiga yang menyebabkan tegangan sisa pada titik penembakan kedua meningkat dari 226,15 MPa menjadi 230,73 Mpa. Pada titik penembakan 3 sendiri terjadi tegangan sisa sebesar 208,27 dengan

kedalaman 0,4 mm dari permukaan. Pada titik penembakan 1 tegangan sisa terbesar terjadi pada permukaan titik penembakan sebesar 226,15 MPa.

### Pengaruh Material properties terhadap tegangan sisa



Gambar 30 Grafik Tegangan - kedalaman distribusi

Tegangan sisa paling besar terjadi pada material Carbon Steel yaitu sebesar 260,03 MPa pada kedalaman 0,05 mm di ikuti dengan stainless steel dengan nilai tegangan sisa sebesar 231,1 MPa pada kedalaman 0,05 mm. sedangkan Nickel memiliki kedalaman tegangan sisa yang lebih baik yaitu pada kedalaman 0,1 mm dengan nilai tegangan sisa sebesar 223,05 MPa. Aluminium, magnesium, dan titanium memiliki nilai tegangan sisa terbesar pada titik 0 mm atau pada permukaan benda dengan nilai masing-masing 241,13 MPa untuk aluminium, 172,83 MPa pada magnesium dan 226,15 MPa pada titanium .

Material carbon steel dengan nilai tegangan yield sebesar 305 MPa menghasilkan tegangan sisa sebesar 260,03 MPa yang merupakan tegangan sisa terbesar dibandingkan dengan variasi material lainnya. Namun jika kita melihat pada material nickel dan magnesium ada sebuah penyimpangan di mana nickel dengan tegangan yield sebesar 148 MPa menghasilkan tegangan sisa sebesar 223,05 MPa lebih besar daripada magnesium dengan tegangan yield sebesar 250 MPa namun

menghasilkan tegangan sisa sebesar 172,82 MPa. hal ini disebabkan oleh nilai modulus elastisitas dari masing-masing material tersebut, modulus elastisitas yang merupakan nilai yang menggambarkan kemampuan resistensi material untuk mengalami deformasi elastis juga berperan dalam besar tegangan sisa yang dihasilkan material. Dengan nilai modulus elastisitas yang semakin tinggi maka kemampuan material dalam menyimpan tegangan sisa akan semakin baik. Oleh karena itu Nickel dengan nilai modulus elastisitas sebesar 207 Gpa dapat menyimpan tegangan sisa sebesar 223,05 Mpa jauh lebih besar dibandingkan magnesium yang nilai modulus elastisitasnya hanya sebesar 44,5 GPa.

### KESIMPULAN

Dari hasil proses simulasi ini dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- Besar tegangan sisa yang terjadi akibat proses *shot peening* pada material dipengaruhi oleh besar nilai tegangan *yield* dan modulus elastisitas material.
- Material *carbon steel* dengan nilai tegangan *yield* sebesar 305 MPa dan modulus elastisitas sebesar 205 GPa menghasilkan tegangan sisa terbesar yaitu sebesar 260,03 MPa.
- Material Nickel dengan nilai modulus elastisitas terbesar menghasilkan kedalaman distribusi tegangan sisa sebesar 0,1 mm dari permukaan

- [3] M. Meo, R. Vignjevic. 2002. Finite element analysis of residual stress induced by shot peening process. *Advances in Engineering Software* 34. Cranfield University, Bedford. UK
- [4] Taehyung Kim, Hyungyi Lee, Minsoo Kim, Sunghwan Jung. 2011. A 3D FE model for evaluation of peening residual stress under angled multi-shot impacts. *Surface & Coatings Technology*. Sogang University, Seoul, Republic of Korea.
- [5] S.A. Meguid, G. Shagal, J.C. Stranart, J. Daly. 1998. Three-dimensional dynamic finite element analysis of shot-peening induced residual stresses. *Finite Elements in Analysis and Design* 31 University of Toronto. Ontario
- [6] Howard, Robert. 2008. A Study in the Prediction of Residual Stresses in Shot Peening. Rensselaer Polytechnic Institute. Hartford, Connecticut.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Champaigne, Jack. 2001. The little book of shot peening. Electronic Incorporated
- [2] Metal Improvement Company. 2005. Shot Peening Application. Curtis-Wright Corp.