

PENGARUH VARIASI MATERIAL NON-FERRO TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN SISA AKIBAT PROSES *SHOT PEENING*

Khairul Anam, Anindito Purnowidodo
Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Jl. MT. Haryono No. 167, Malang 65145,
Indonesia
E-mail: khairul.anam27@ub.ac.id

Abstract

Shot peening merupakan salah satu jenis cold working yang bertujuan untuk memperpanjang fatigue life logam dengan cara menembakkan butiran-butiran yang berbentuk bulat. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan tegangan sisa tekan pada permukaan logam. Dengan dilakukannya proses shot peening yang memberikan tegangan sisa tekan dapat meningkatkan usia komponen secara struktural. Pada penelitian ini, analisis numerik dengan menggunakan software berbasis elemen hingga digunakan untuk menganalisa distribusi tegangan sisa akibat proses shot peening. Material non-ferro yang digunakan terdiri dari aluminium alloy 2014-T451, titanium grade 1, nickel alloy 200, magnesium alloy WE54-T6. Dengan shot media berupa stainless steel 420F ball \varnothing 0.4 mm dan shot velocity 50 m/s. Distribusi tegangan sisa yang terjadi akibat proses shot peening pada material dipengaruhi oleh besar nilai tegangan yield dan modulus elastisitas material. Material nickel dengan nilai modulus elastisitas terbesar menghasilkan kedalaman distribusi tegangan sisa sebesar 0.1 mm dari permukaan.

Keywords: *Shot peening, tegangan sisa, material non-ferro.*

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 jangan 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° , 60° , dan 75° dengan hasil menunjukkan bahwa sudut 75° 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*.

METODOLOGI 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 bebas dalam penelitian ini adalah jenis material non-ferro yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Variabel terikat yang digunakan adalah distribusi tegangan sisa yang dihasilkan dari proses *shot peening*.

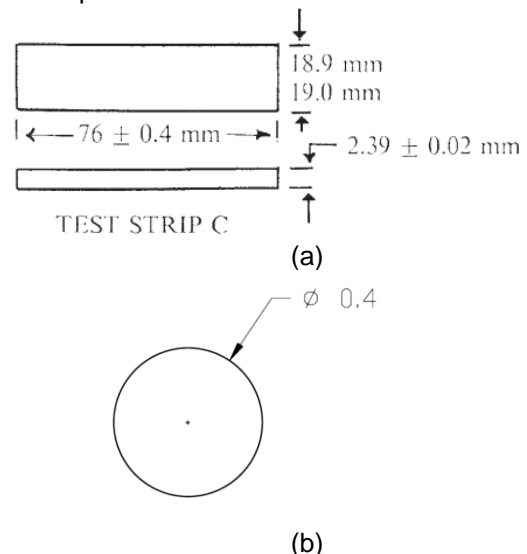
Sedangkan variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah *shot media* berupa stainless steel 420F ball $\varnothing 0.4$ mm dan *shot velocity* sebesar 50 m/s. Proses *shot peening* menggunakan *single shot peening type*.

Tabel 1. Material Properties

Variasi Material		Aluminium	Magnesium	Nickel	Titanium
Density (ρ)	(g/mm ³)	2,80	1,85	8,9	4,51
Modulus Elasticity (E)	(GPa)	72,4	44,5	207	100
Tensile Strength, Yield (σ_y)	(MPa)	250	225	148	240
Tensile Strength, Ultimate (σ_u)	(MPa)	400	280	462	330
Elongation (e)	(%)	14	4	47	30
Poisson's ratio (ν)		0,33	0,27	0,31	0,34

Spesimen Penelitian

Pada simulasi ini menggunakan 2 jenis benda berupa bola sebagai *shot media* dan balok sebagai *base material* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

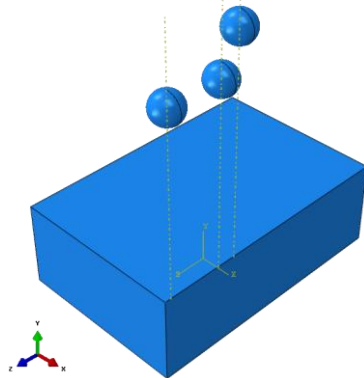


Gambar 1. Geometri (a) *Base Material* (b) *Shot Media*

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

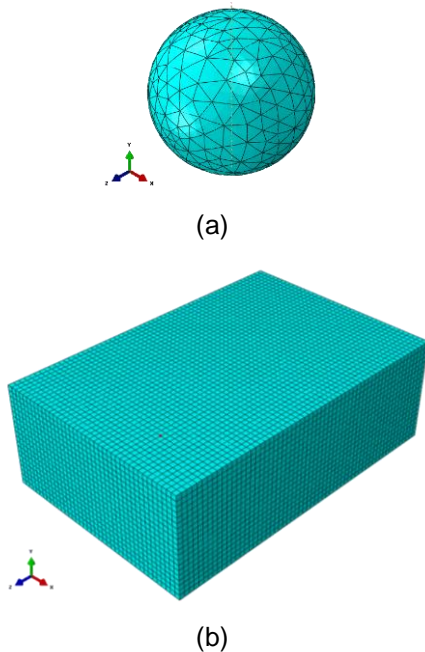
buah *shot media* dengan spesifikasi yang sama namun titik penembakan yang berbeda.



Gambar 2. 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 seperti yang terlihat pada Gambar 3.

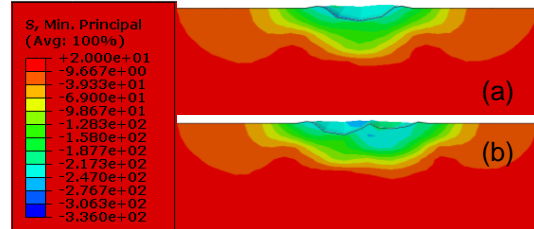


Gambar 3. Bentuk *Meshing* (a) *Shot media*, (b) *Base material*

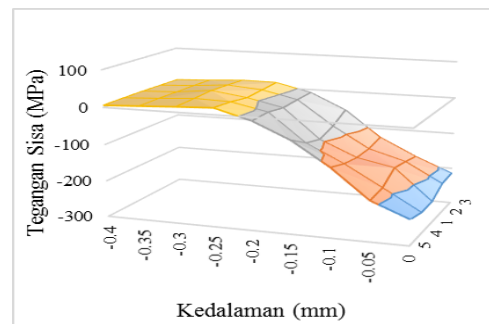
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil distribusi tegangan sisa

a. Aluminium

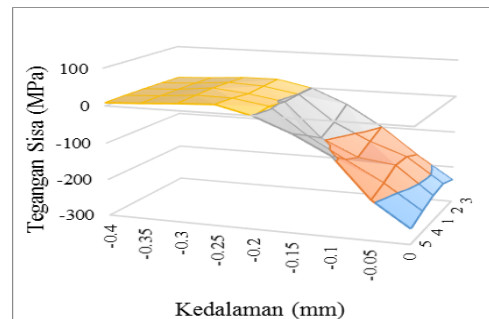


Gambar 4. Distribusi tegangan sisa pada titik penembakan 1 (a) pada titik penembakan 2 dan 3 (b) pada material Aluminium

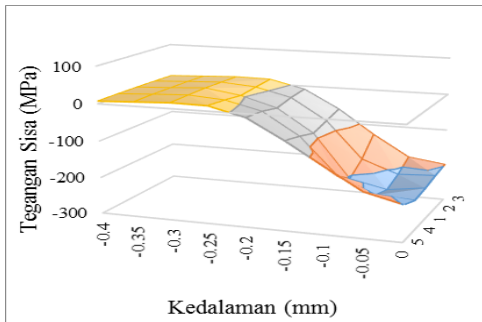


Gambar 5. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 aluminium.

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.



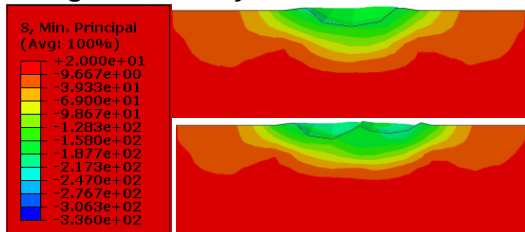
Gambar 6. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 2 aluminium.



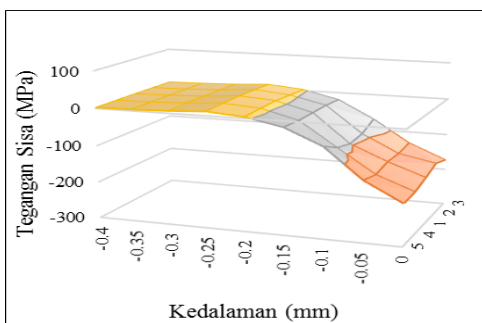
Gambar 7. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 3 aluminium.

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.

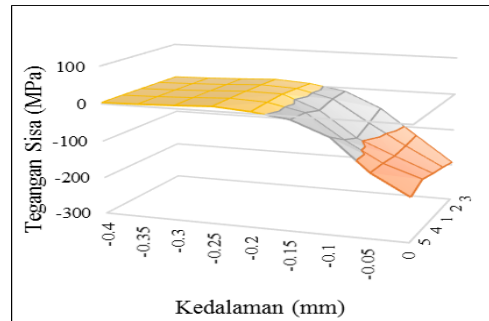
b. Magnesium Alloy



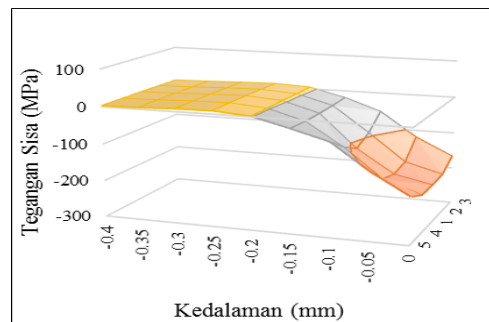
Gambar 8. Distribusi tegangan sisa pada titik penembakan 1 (a) pada titik penembakan 2 dan 3 (b) pada material Magnesium Alloy



Gambar 9. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 Magnesium.



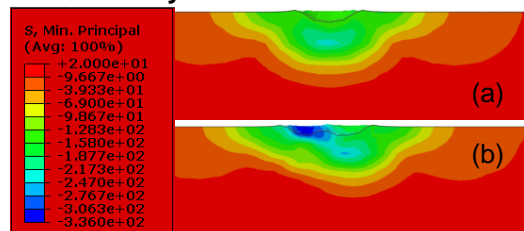
Gambar 10. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 2 Magnesium.



Gambar 11. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 3 Magnesium.

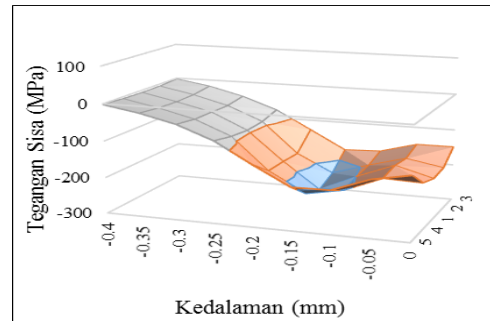
Pada material magnesium alloy tegangan sisa tekan maksimum terjadi pada permukaan titik penembakan 3 yaitu sebesar 196,76 MPa. Pada titik penembakan 1 tegangan sisa maksimum juga terjadi di permukaan yaitu sebesar 172,83 MPa demikian juga pada titik penembakan 2 yang tegangan sisa tekan maksimumnya terdapat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

c. Nickel Alloy

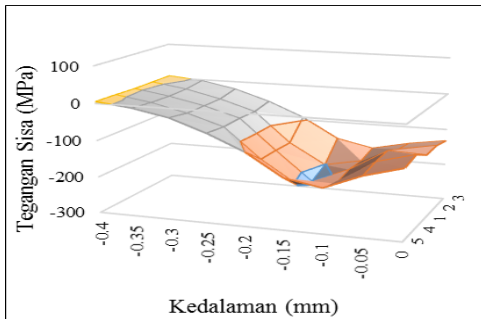


Gambar 12. Distribusi tegangan sisa pada titik penembakan 1 (a) pada titik penembakan 2 dan 3 (b) pada material Nickel.

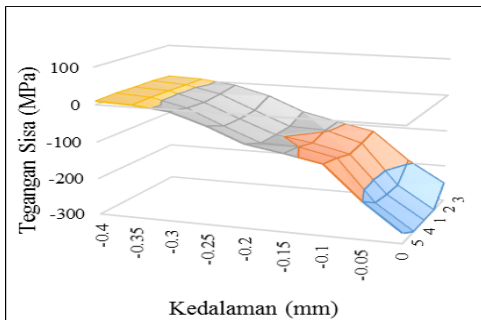
Pada material Nickel Alloy tegangan sisa tekan maksimum terjadi pada permukaan titik penembakan 2 yaitu sebesar 317,99 MPa yang terjadi setelah mendapat pengaruh tumbukan bola 3 yang di mana tegangan sisa tekan awal pada permukaan titik penembakan 2 adalah 125,13 MPa. Pada material Nickel distribusi 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 15. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 3 Nickel.

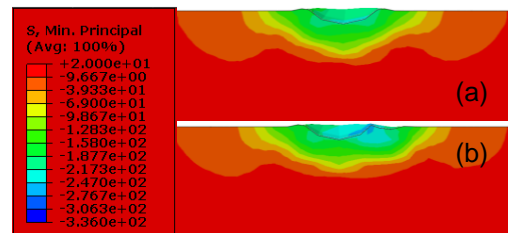


Gambar 13. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 Nickel.

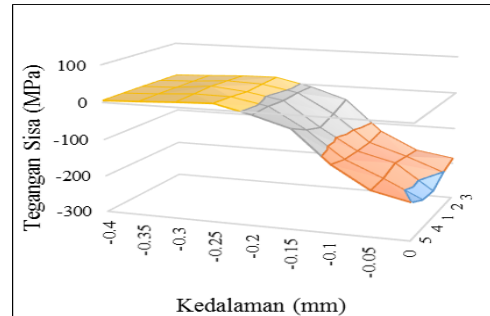


Gambar 14. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 2 Nickel.

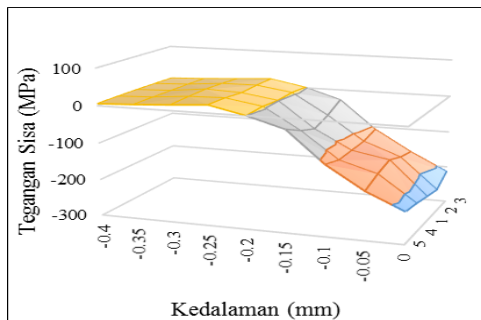
d. Titanium



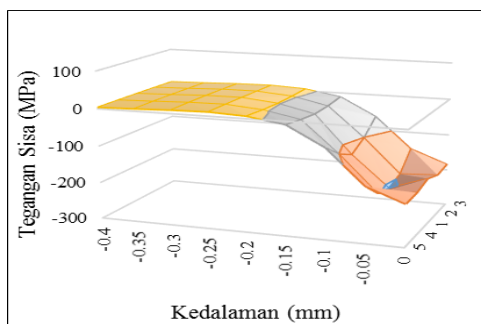
Gambar 16. Distribusi tegangan sisa pada titik penembakan 1 (a) pada titik penembakan 2 dan 3 (b) pada material Titanium



Gambar 17. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 1 Titanium.



Gambar 18. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 2 Titanium.



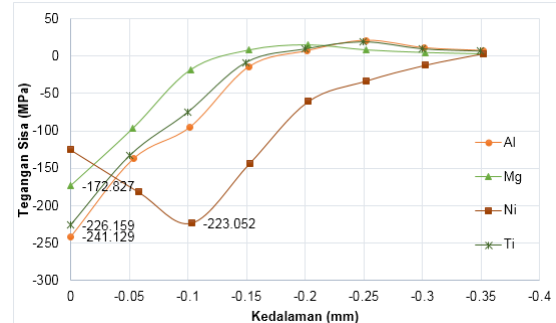
Gambar 19. Hubungan antara kedalaman - tegangan sisa pada titik penembakan 3 Titanium.

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

Dari Gambar 20 dapat dilihat bahwa Nikel 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 .



Gambar 20. Nilai tegangan sisa pada kedalaman tertentu

Material Nikel dan magnesium mengalami sebuah penyimpangan di mana nikel 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 Nikel 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 Nickel dengan nilai modulus elastisitas terbesar menghasilkan kedalaman distribusi tegangan sisa sebesar 0,1 mm dari permukaan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Champagne, Jack. 2001. The little book of shot peening. Electronic Incorporated

- [2] Metal Improvement Company. 2005. Shot Peening Application. Curtis-Wright Corp.
- [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, Hyungyil 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.