

BAB IV

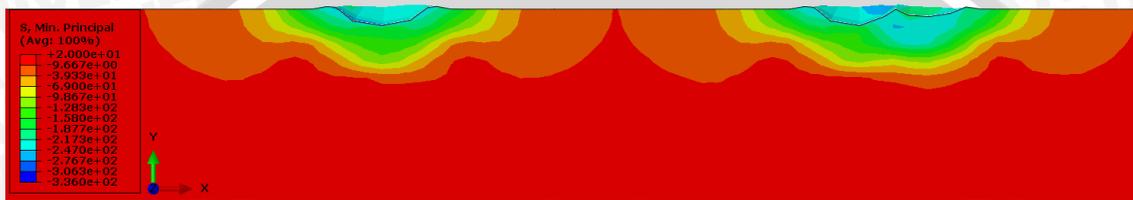
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Simulasi

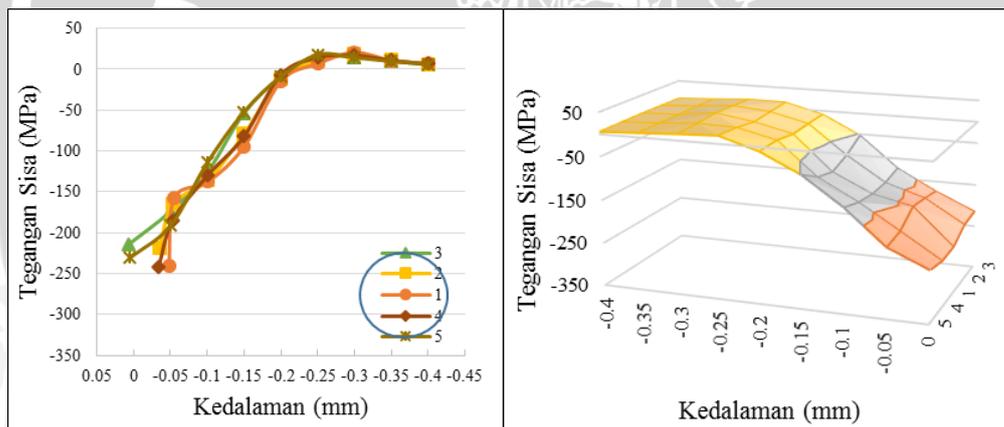
4.1.1. Data Hasil Pengambilan Data

- Terlampir

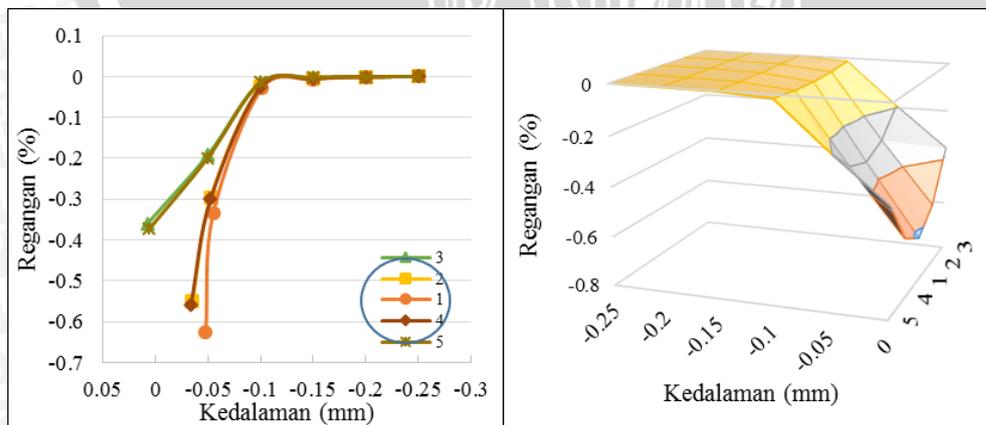
a. Aluminium



Gambar 4.1 Distribusi tegangan sisa pada material Aluminium.



(a)

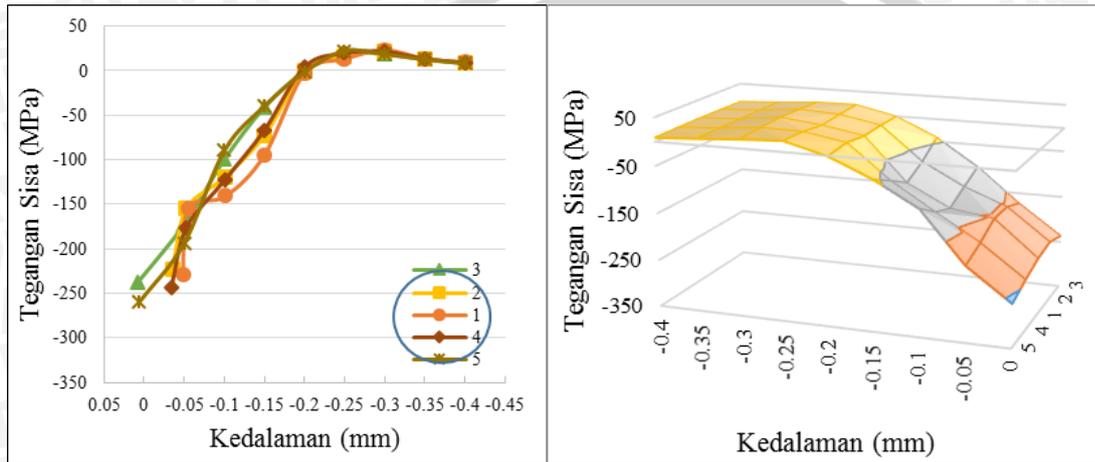


(b)

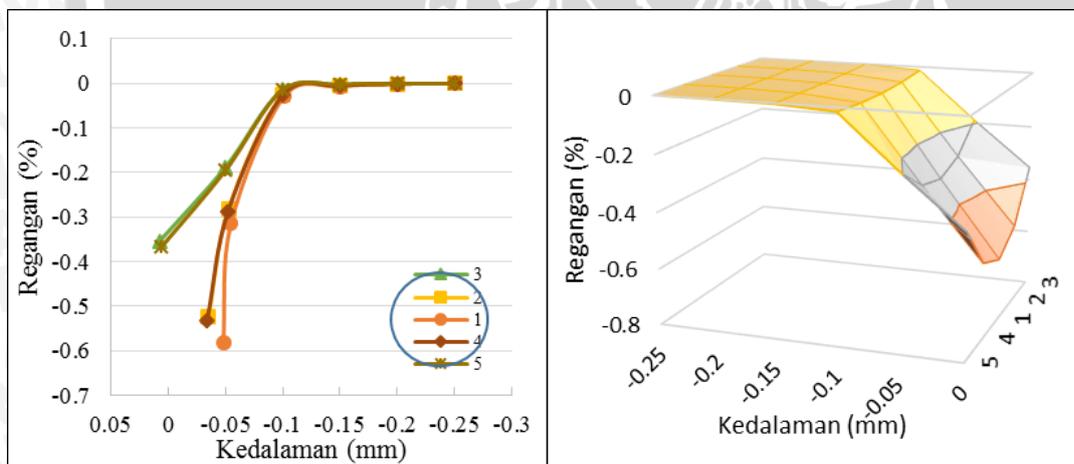
Gambar 4.2 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 1 material aluminium.



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. Dari hasil simulasi didapatkan nilai tegangan sisa tekan terbesar terjadi pada titik penembakan 1 sebesar 241,13 MPa. Tegangan sisa tekan terdistribusi hingga kedalaman 0.2 mm dari permukaan hingga akhirnya menjadi tegangan sisa tarik pada titik 0,25 mm.



(a)

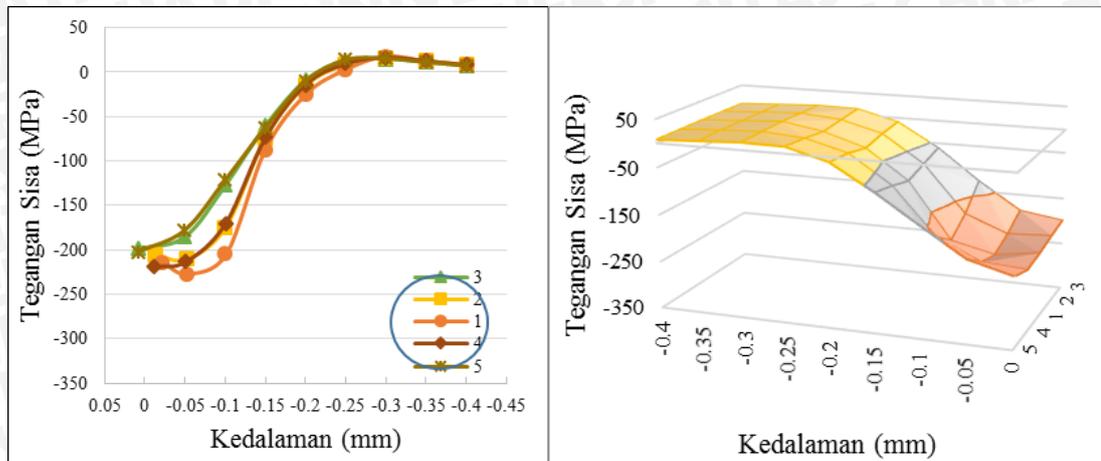


(b)

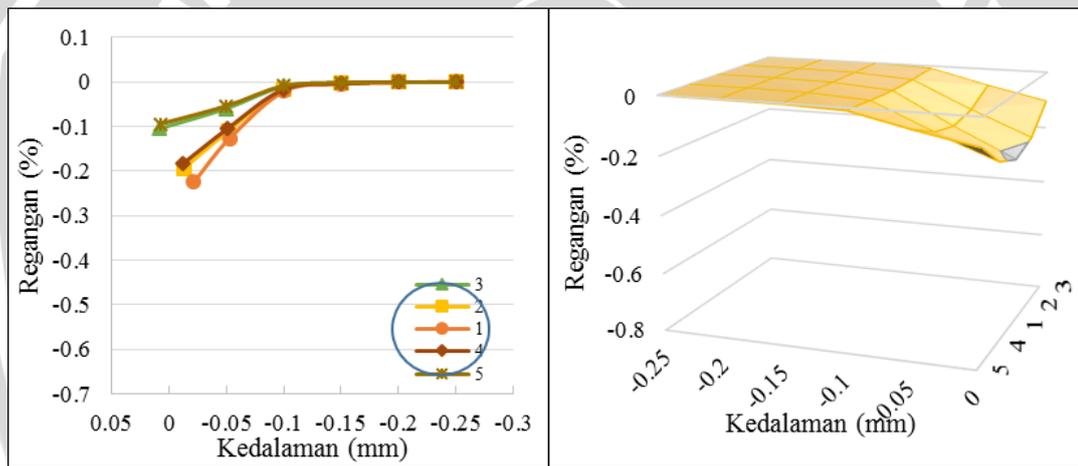
Gambar 4.3 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 2 material aluminium.

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 yang terletak pada jarak 0.2 mm sumbu x titik penembakan 2. 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 0,05 mm yaitu sebesar 227,18 MPa.



(a)



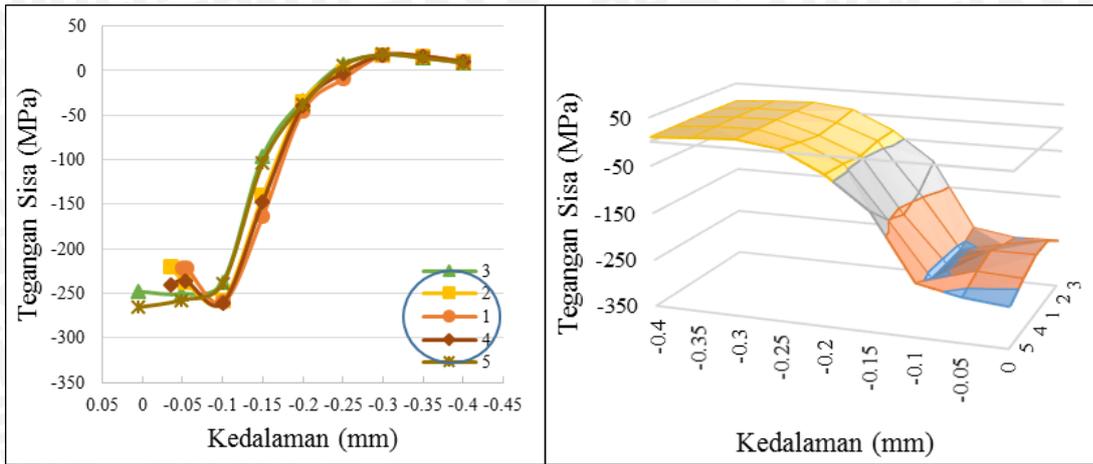
(b)

Gambar 4.4 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 3 material aluminium.

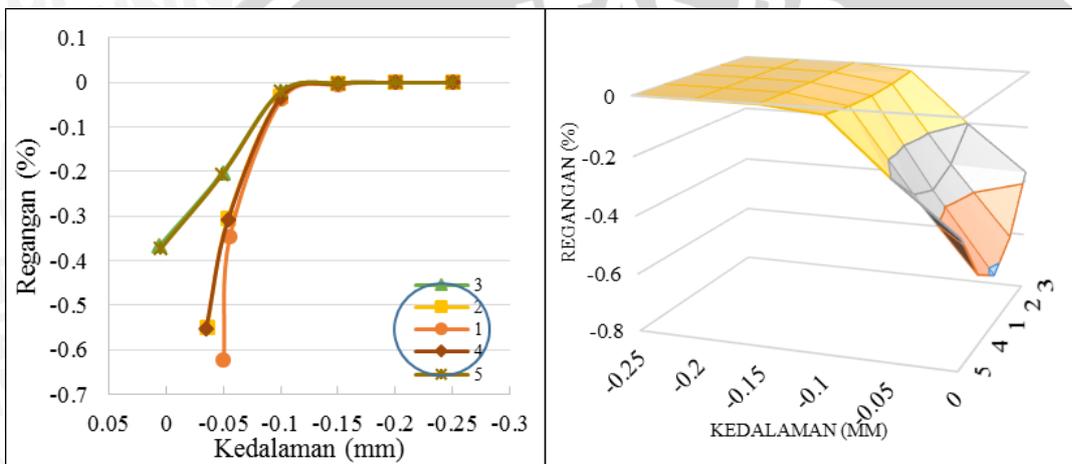
### b. Carbon steel



Gambar 4.5 Distribusi tegangan sisa pada material *Carbon steel*.



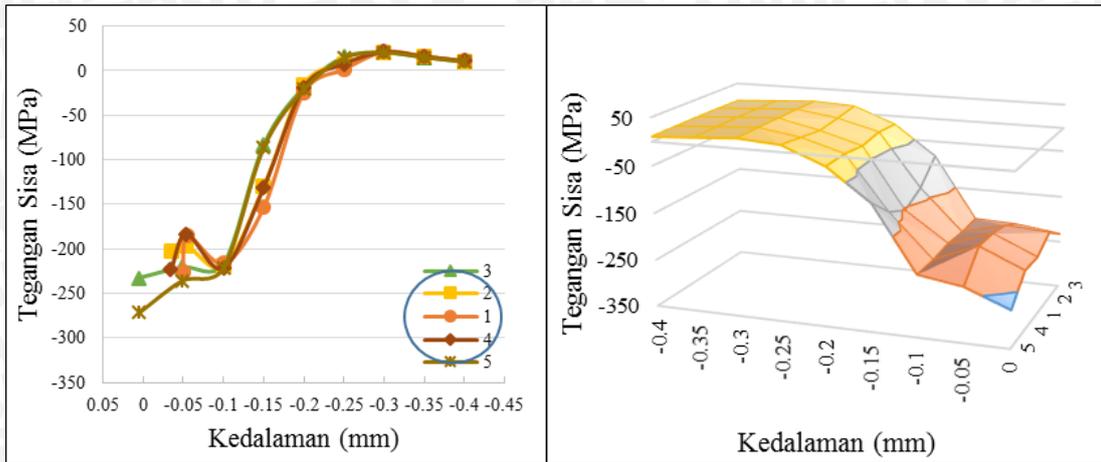
(a)



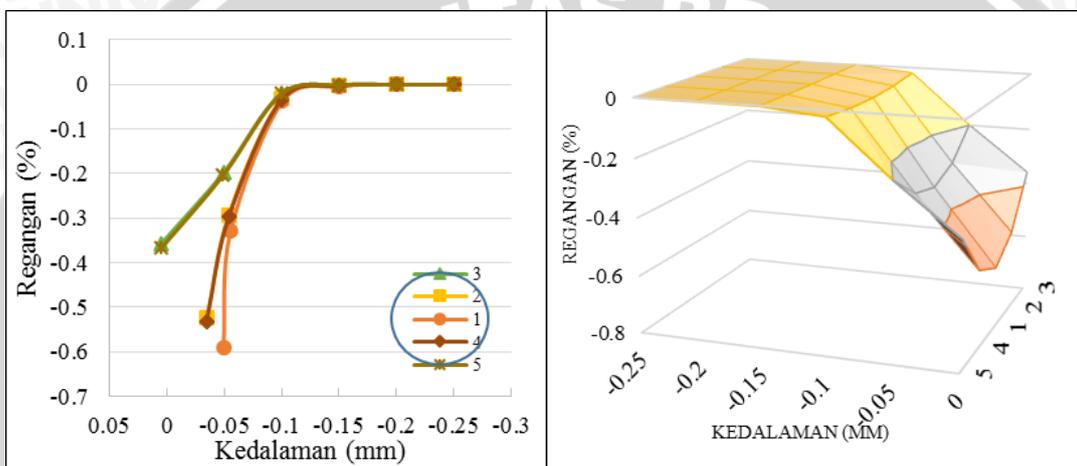
(b)

Gambar 4.6 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 1 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 0,05 mm. pada titik penembakan 1 tegangan sisa tekan terbesar terjadi pada kedalaman 0,1 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.

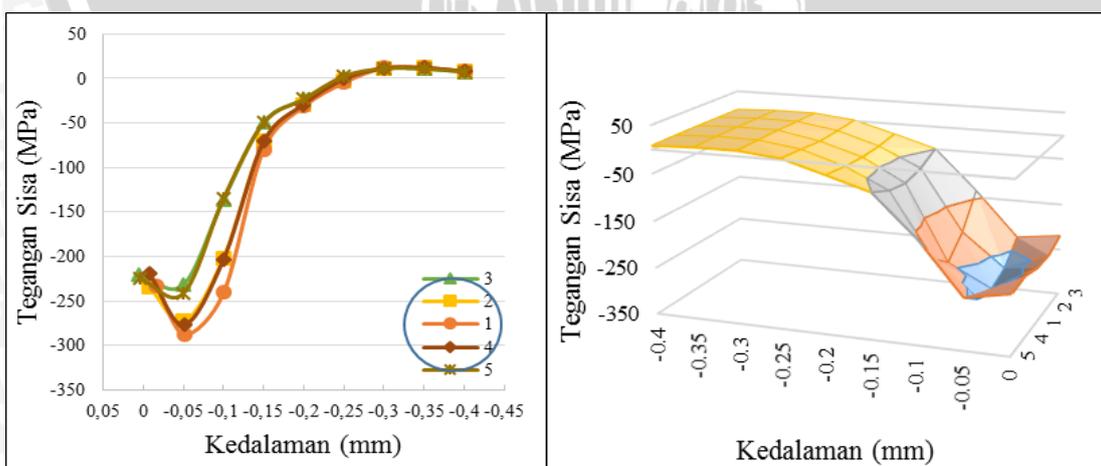


(a)

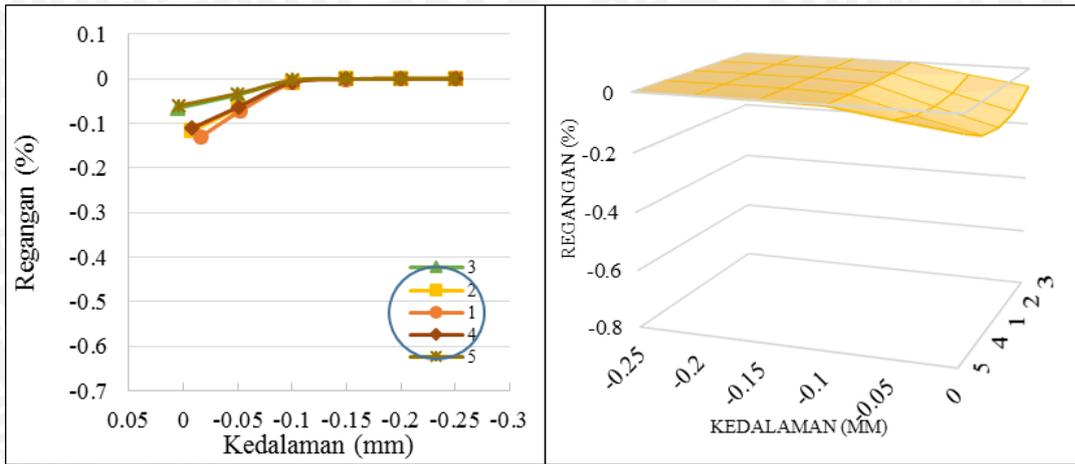


(b)

Gambar 4.7 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 2 material *carbon steel*.



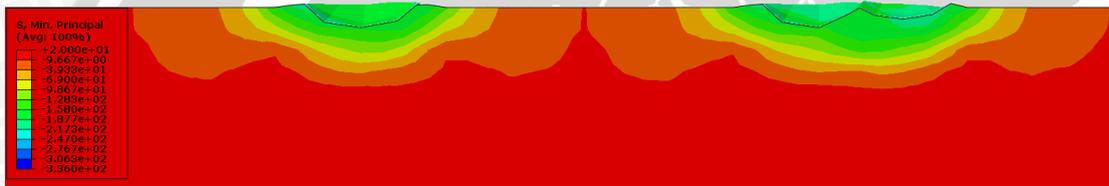
(a)



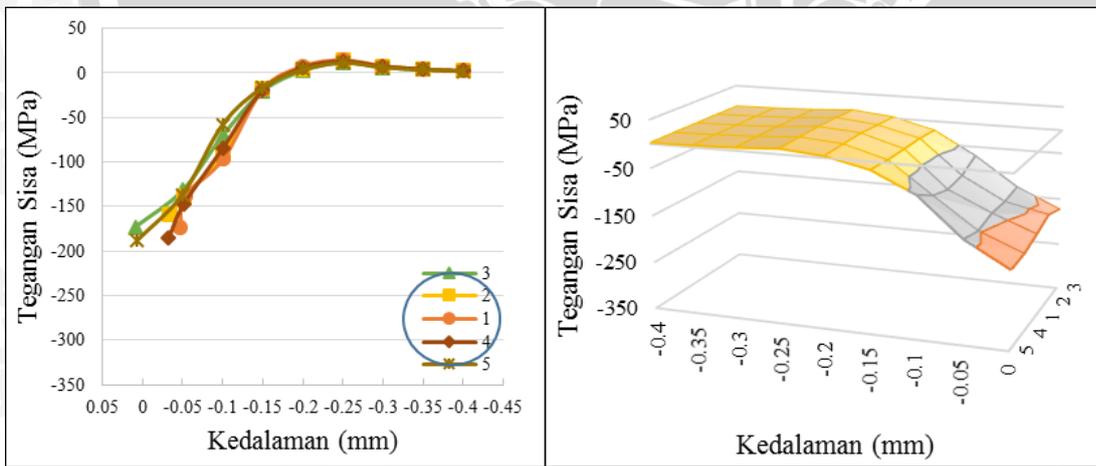
(b)

Gambar 4.8 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 3 material *carbon steel*.

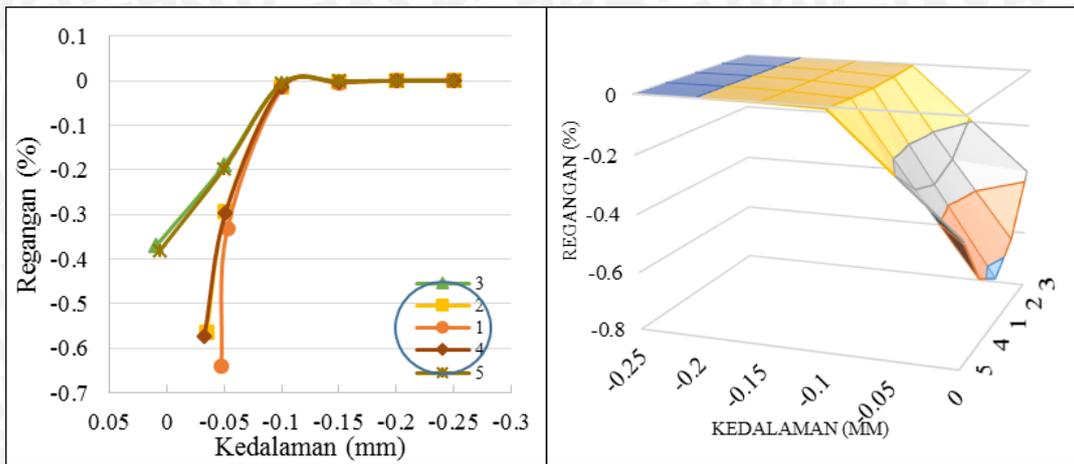
c. *Magnesium Alloy*



Gambar 4.9 Distribusi tegangan sisa pada material *Magnesium Alloy*



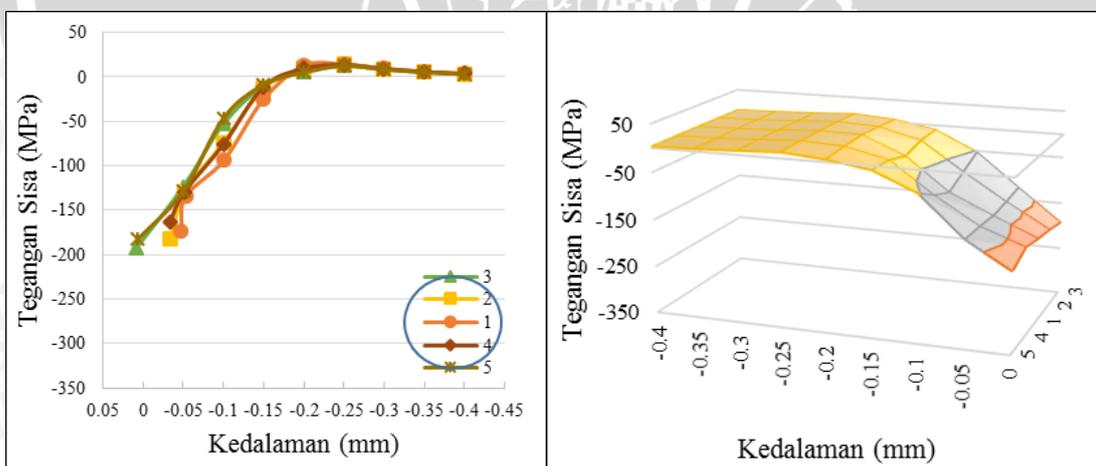
(a)



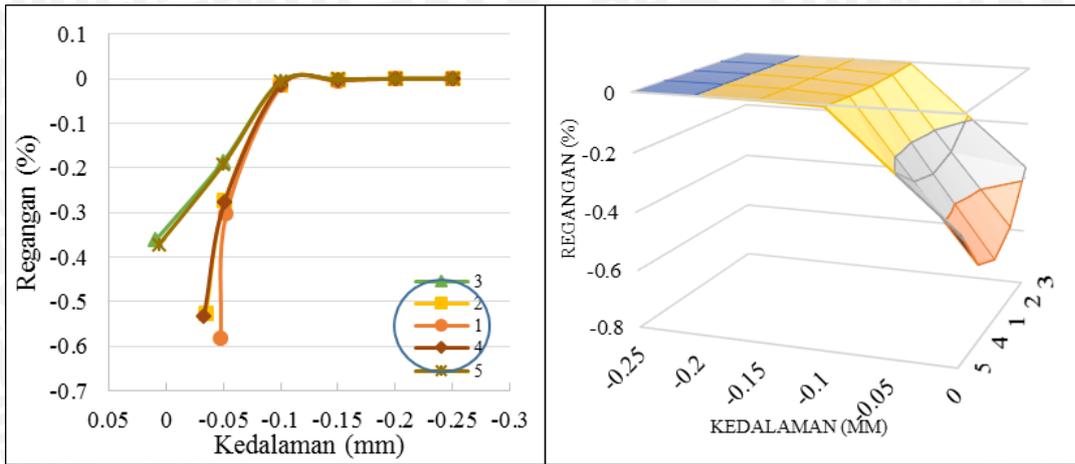
(b)

Gambar 4.10 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 1 material 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.

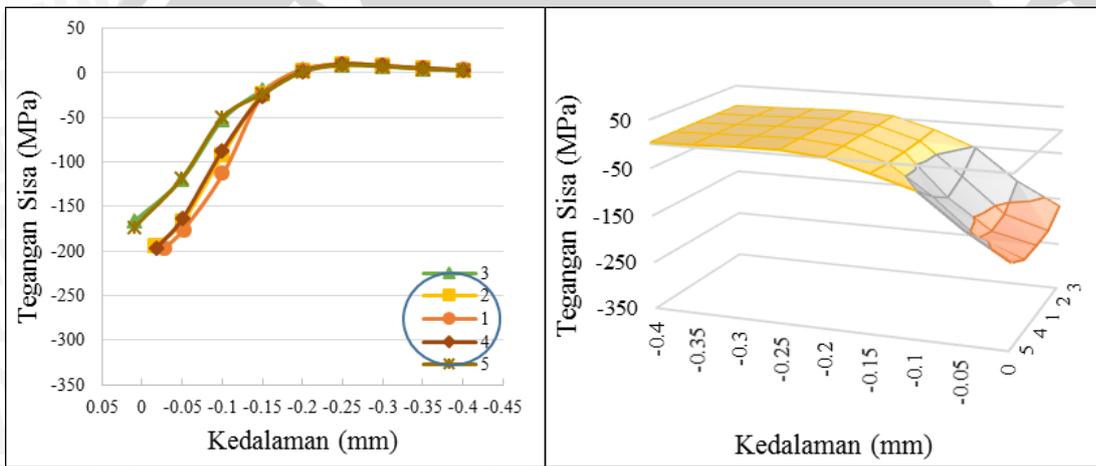


(a)

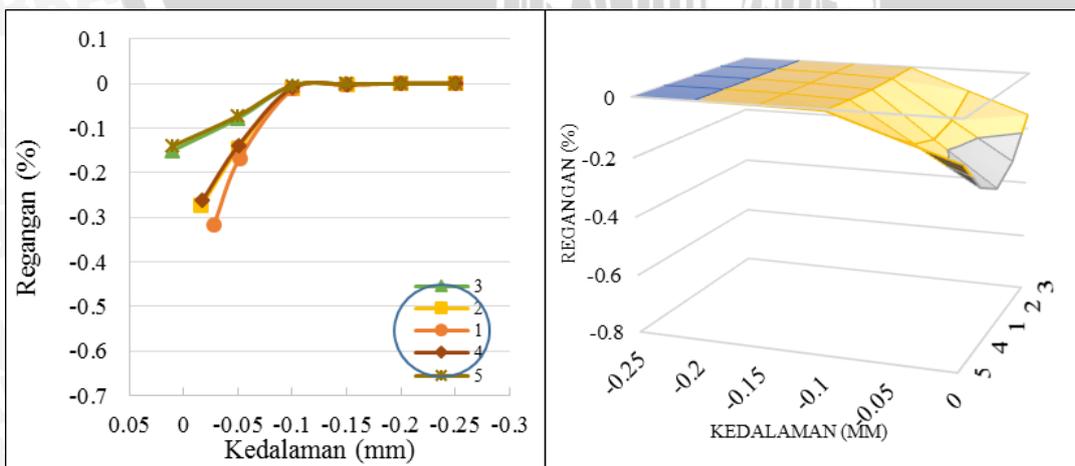


(b)

Gambar 4.11 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 2 material magnesium.



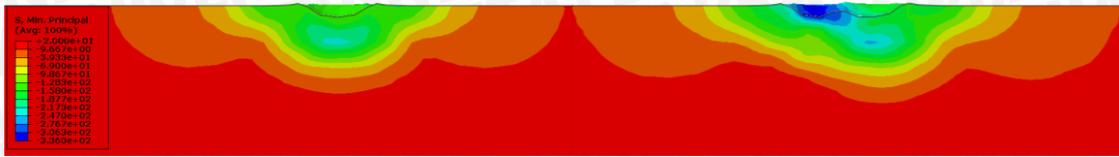
(a)



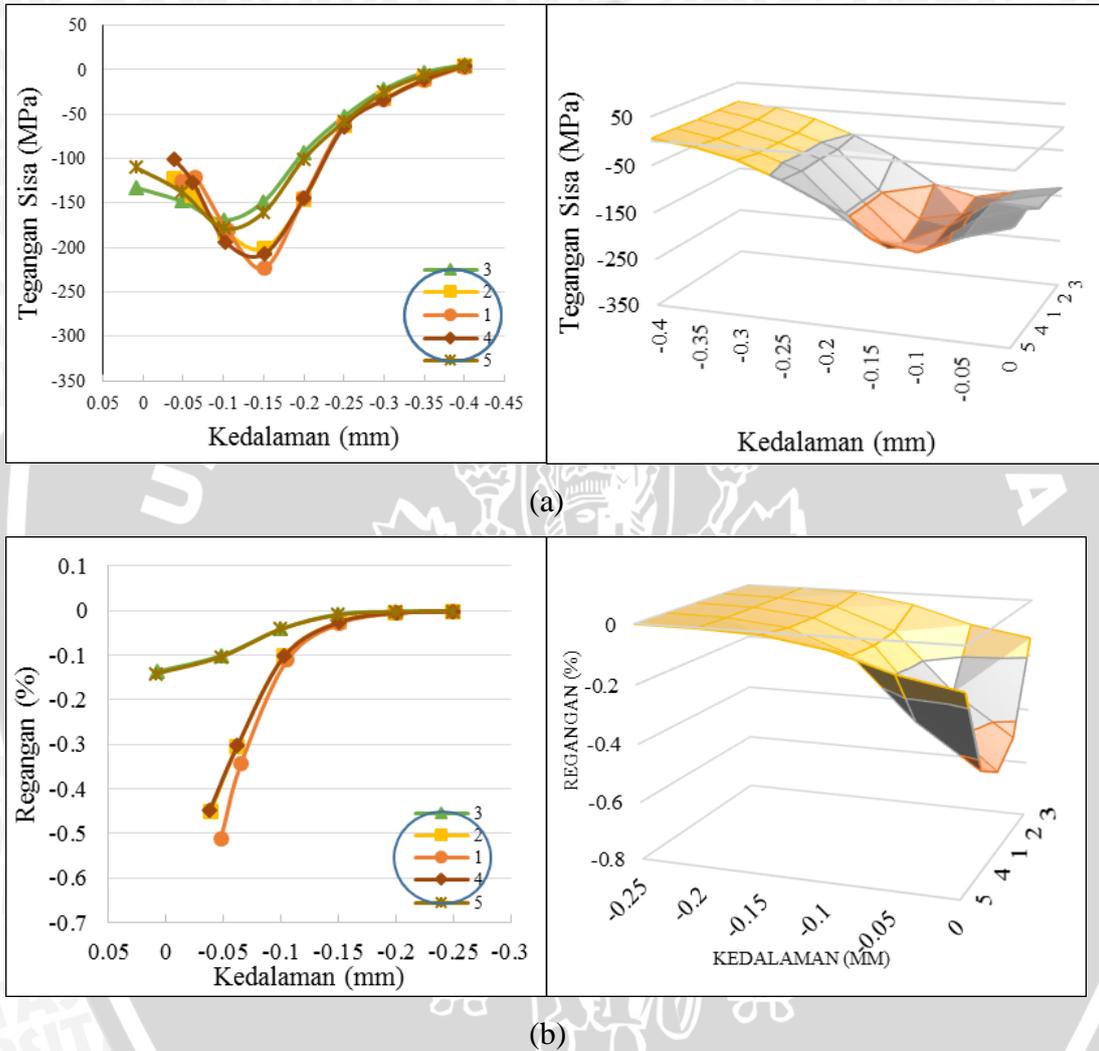
(b)

Gambar 4.12 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 3 material magnesium.

#### d. Nickel Alloy



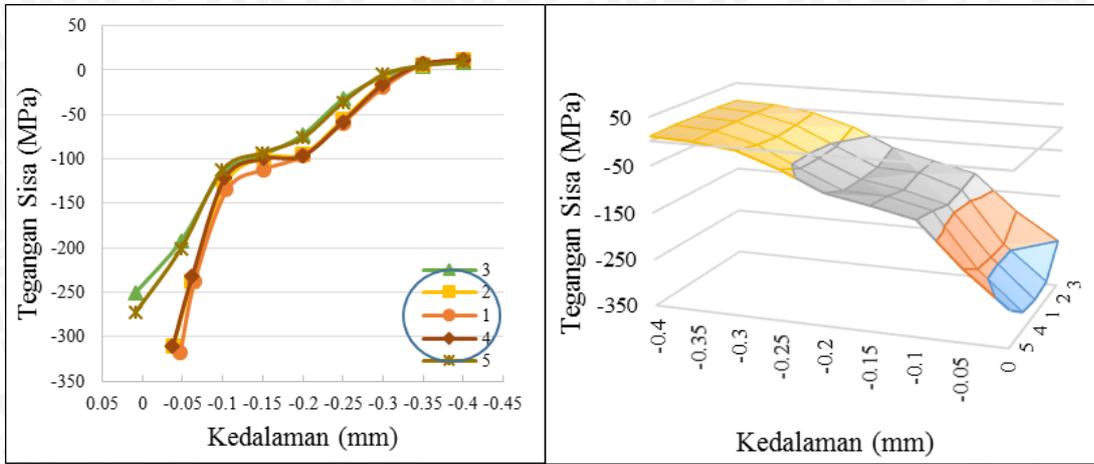
Gambar 4.13 Distribusi tegangan sisa pada material *Nickel Alloy*.



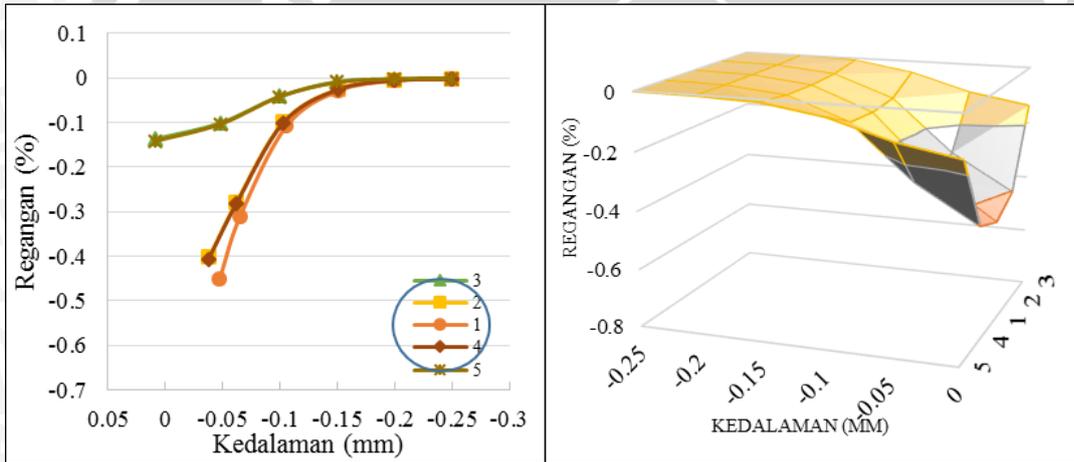
Gambar 4.14 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 1 material nikel.

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 0,35 mm hingga akhirnya mencapai tegangan sisa tarik pada kedalaman 0,4 mm. pada titik penembakan 1 tegangan sisa maksimum terjadi pada

kedalaman 0,15 mm yaitu sebesar 223,05 MPa sedangkan pada titik penembakan 3 tegangan sisa maksimum terjadi pada kedalaman 0,15 mm sebesar 244,51 MPa.

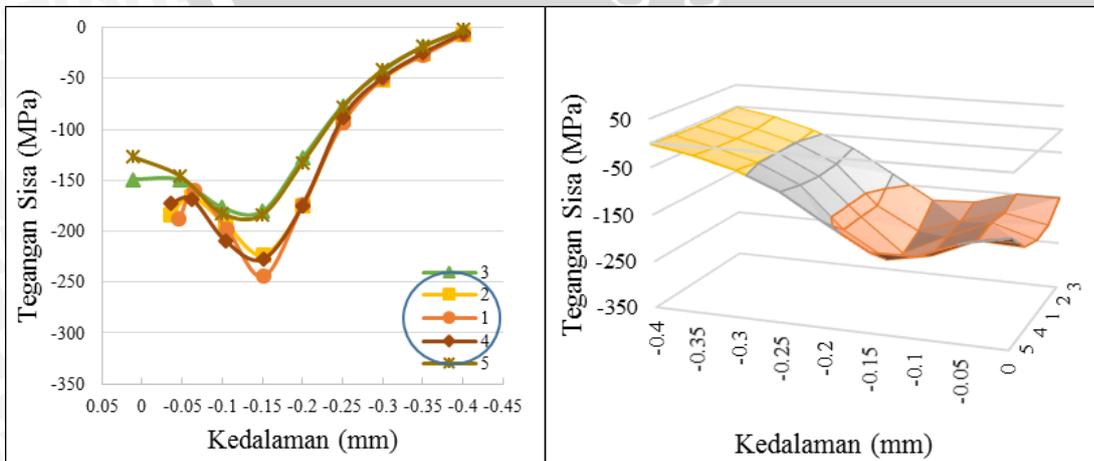


(a)

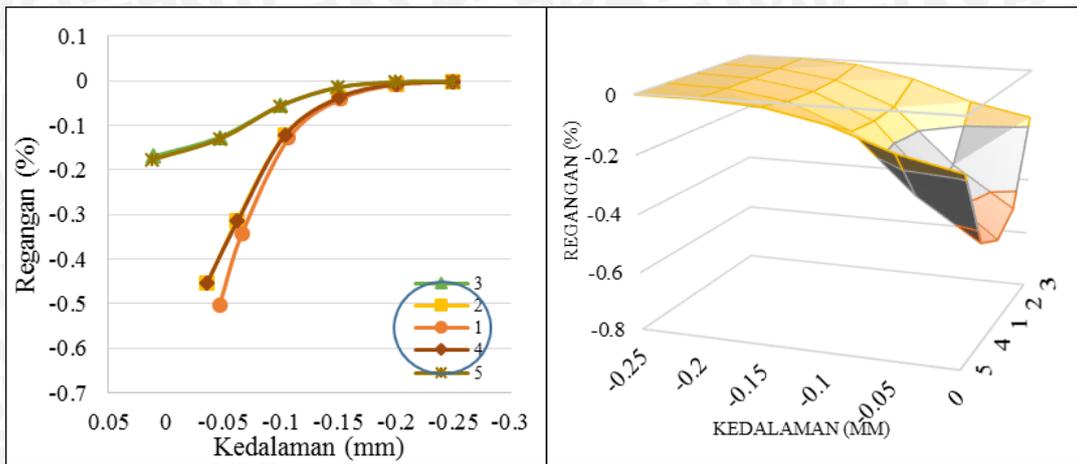


(b)

Gambar 4.15 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 2 material nikel.



(a)



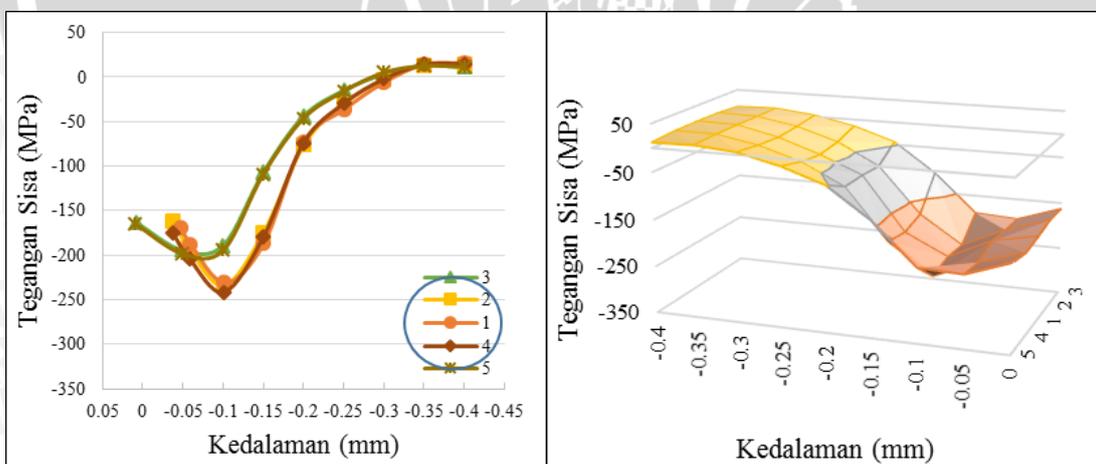
(b)

Gambar 4.16 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 3 material nikel.

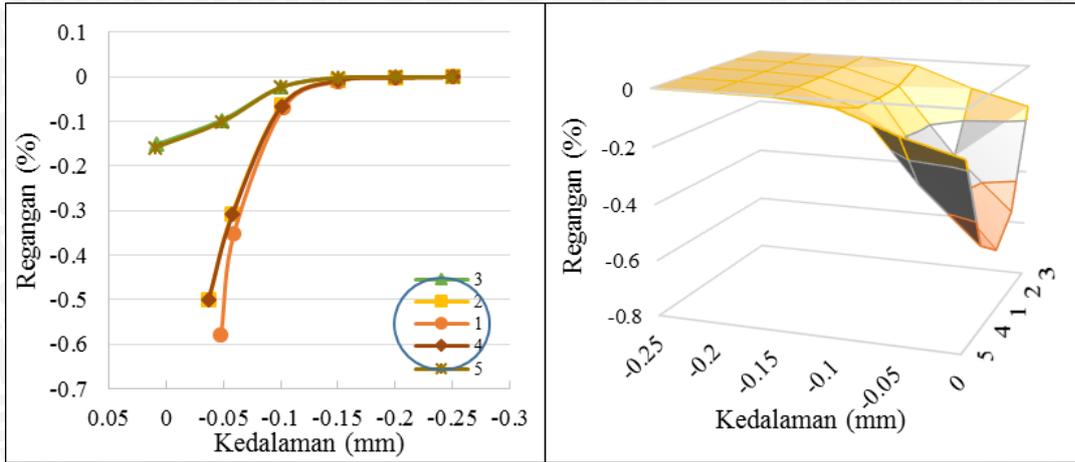
e. *Stainless Steel*



Gambar 4.17 Distribusi tegangan sisa pada material *Stainless Steel*



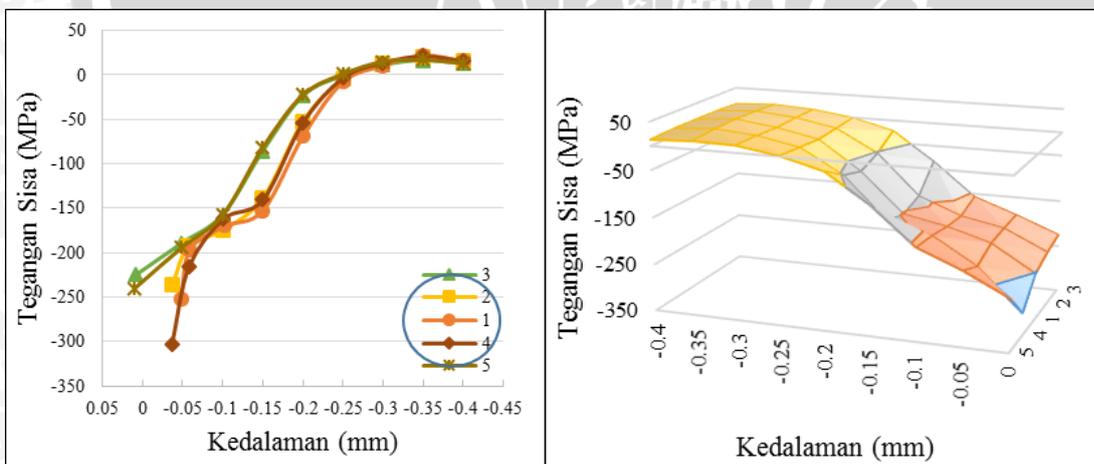
(a)



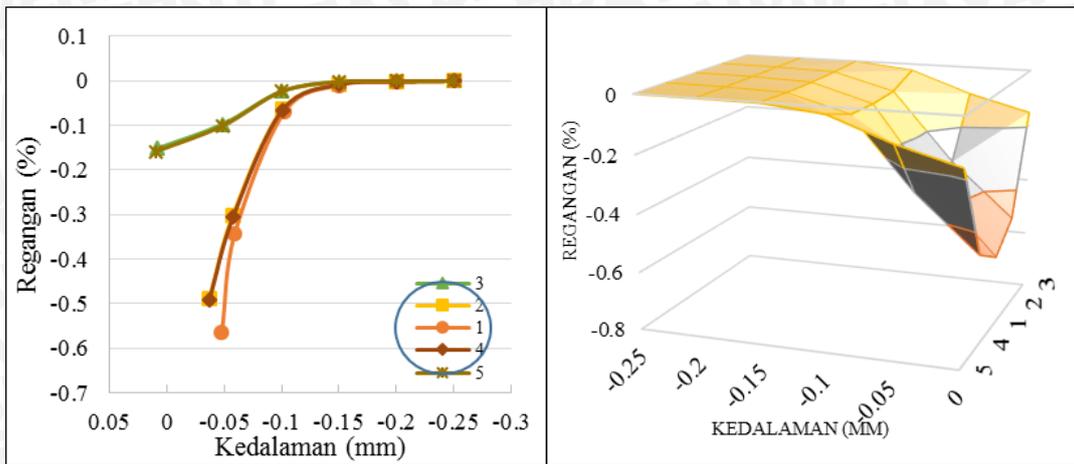
(b)

Gambar 4.18 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 1 material *Stainless Steel*.

Pada material *Stainless Steel* tegangan sisa tekan maksimum terjadi pada titik penembakan 3 sebesar 288,75 MPa pada kedalaman 0,1 mm. Penembakan ketiga menyebabkan tegangan sisa tekan pada titik penembakan 2 berkurang, yang semula sebesar 231,01 MPa pada kedalaman 0,1 mm menjadi 170,4 MPa. Dan tegangan sisa tekan maksimum berpindah ke permukaan titik penembakan 2 yaitu sebesar 251,93 MPa.

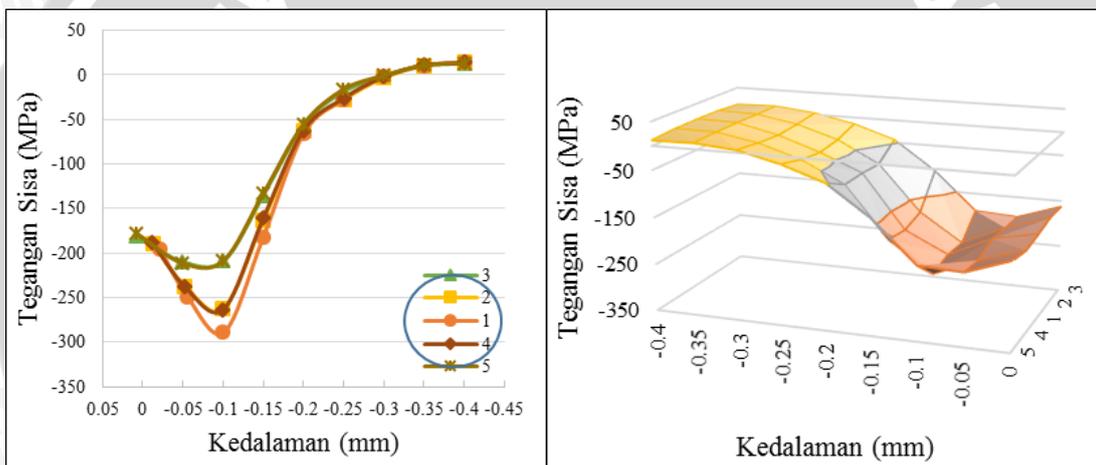


(a)

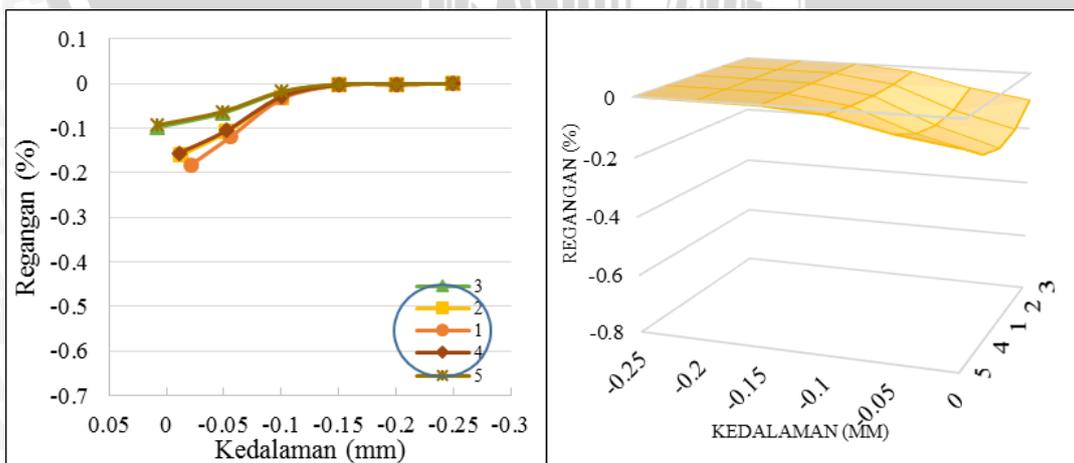


(b)

Gambar 4.19 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 2 material *Stainless Steel*.



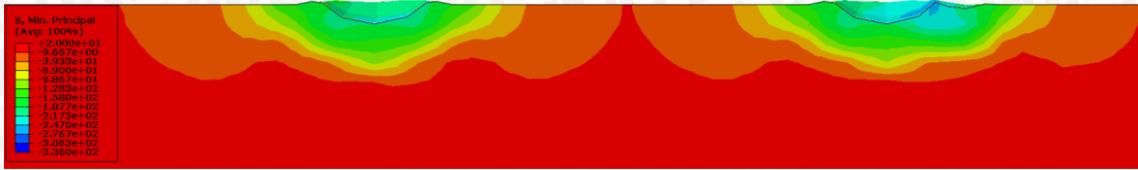
(a)



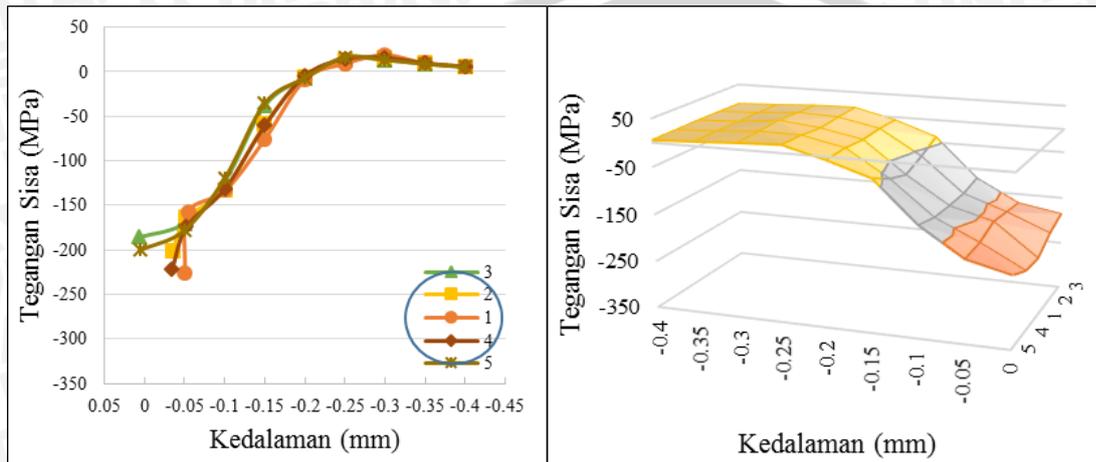
(b)

Gambar 4.20 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 3 material *Stainless Steel*.

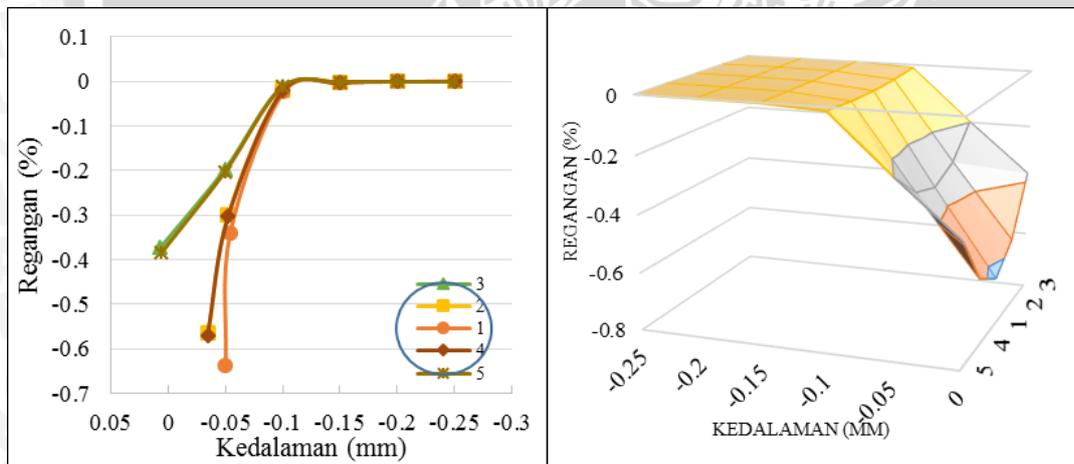
f. Titanium



Gambar 4.21 Distribusi tegangan sisa pada material Titanium



(a)

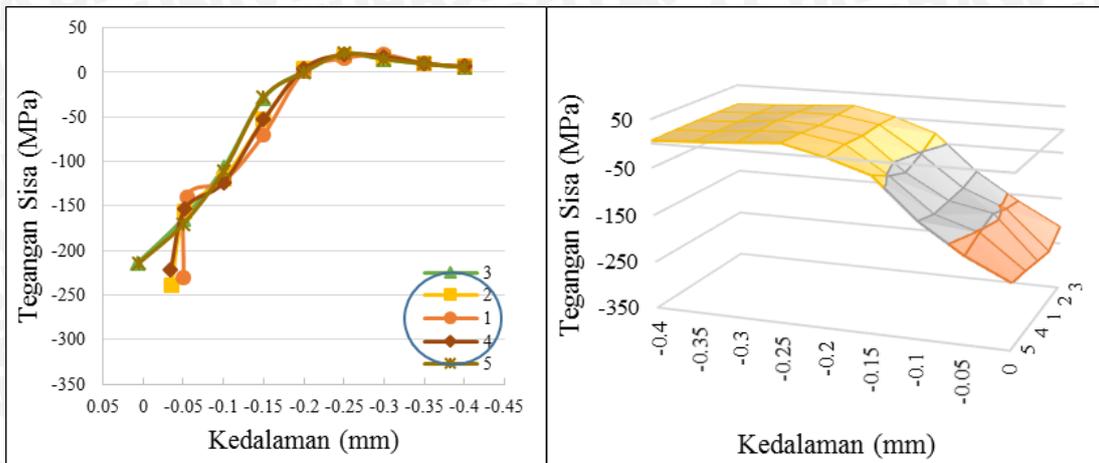


(b)

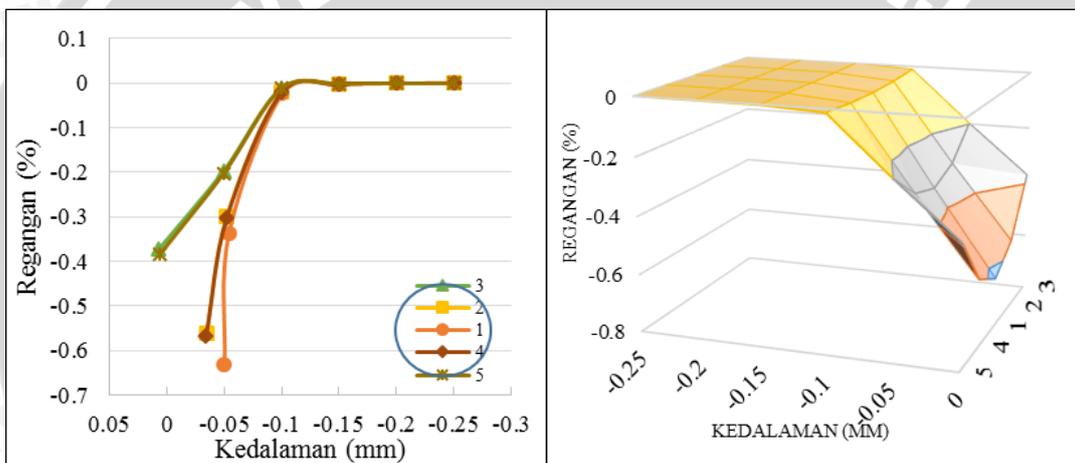
Gambar 4.22 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 1 material Titanium.

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 0,05

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

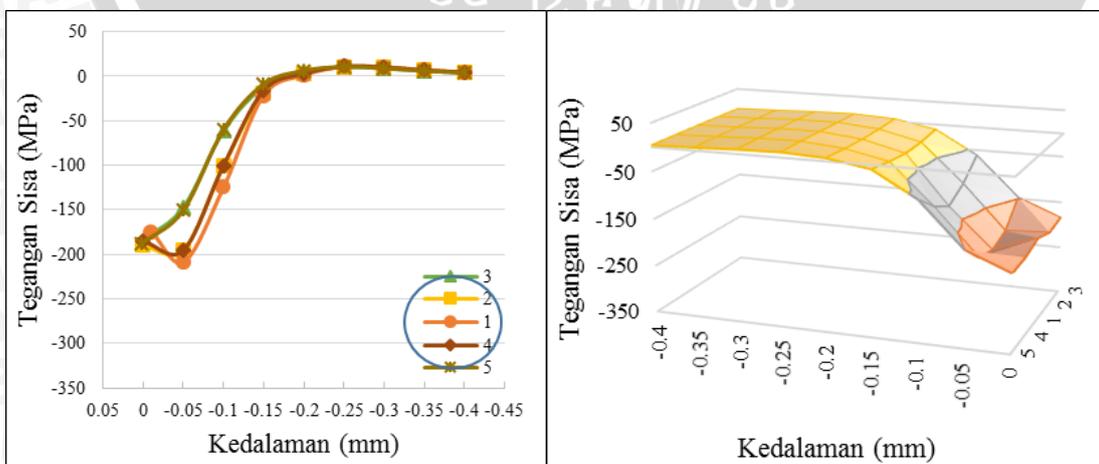


(a)

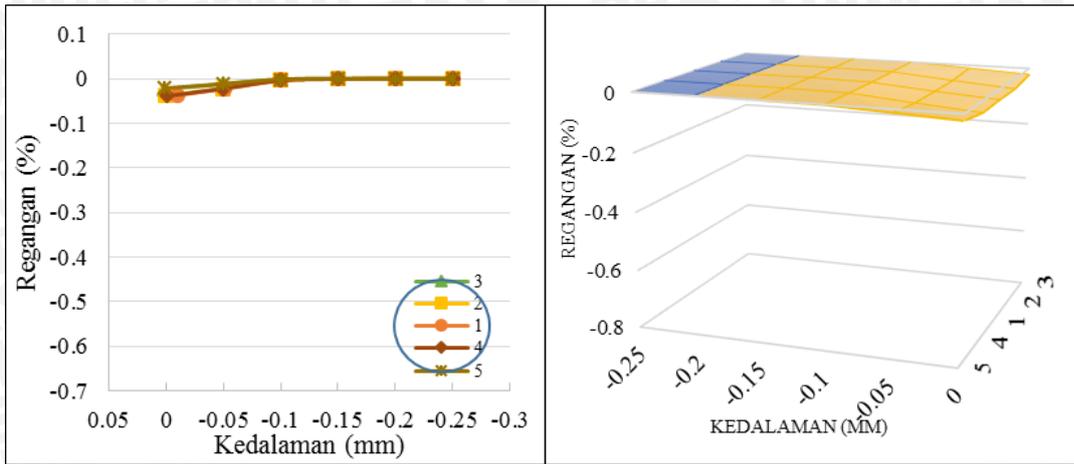


(b)

Gambar 4.23 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 2 material Titanium.



(a)

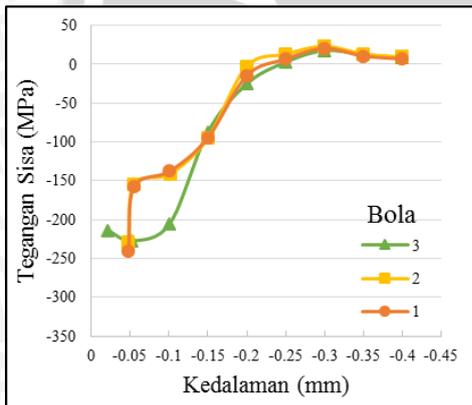


(b)

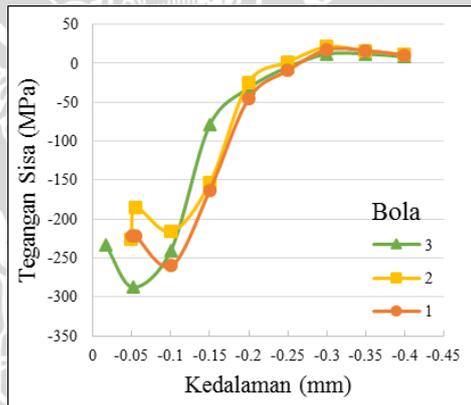
Gambar 4.24 Grafik (a) kedalaman - tegangan sisa dan (b) kedalaman - regangan pada titik penembakan 3 material Titanium.

## 4.2 Pembahasan

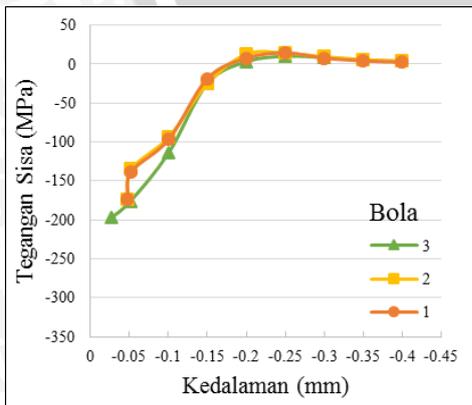
### 4.2.1. Distribusi Tegangan sisa



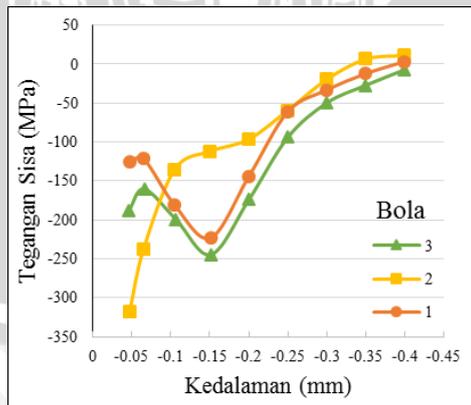
(a)



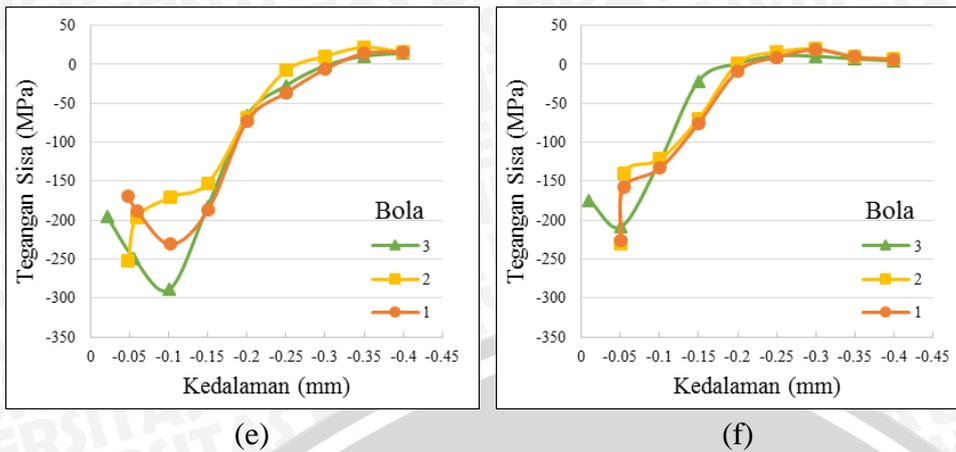
(b)



(c)



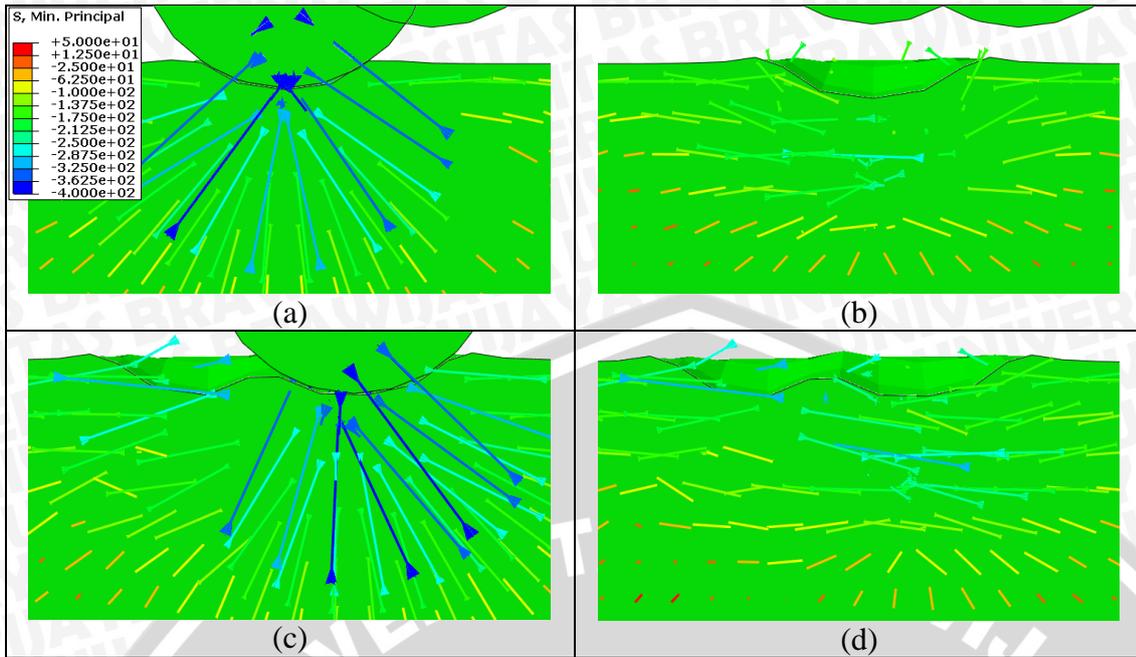
(d)



Gambar 4.25 : Grafik Kedalaman - tegangan sisa pada variasi material (a) Aluminium. (b) Carbon steel. (c) Magnesium. (d) Nickel. (e) Stainless Steel. (f) Titanium.

Seperti yang dijelaskan pada sub - bab data hasil pengujian yang menyebutkan bahwa tegangan sisa terbesar terjadi pada titik penembakan 2 material *Nickel* yaitu sebesar 318,00 MPa pada permukaan titik penembakan kedua. Pada material *nickel* juga terdapat kedalaman penetrasi tegangan sisa tekan terbesar yaitu pada titik -0,4 mm dari permukaan pada titik penembakan 3. Namun jika kita lihat dari gambar 4.1 (d) tegangan sisa terbesar yang terjadi pada *nickel* merupakan tegangan sisa yang terpengaruh oleh penembakan 3 di mana pada penembakan 3 mempengaruhi tegangan sisa yang terdapat pada titik penembakan 2 yang pada awalnya sama dengan titik penembakan 1.

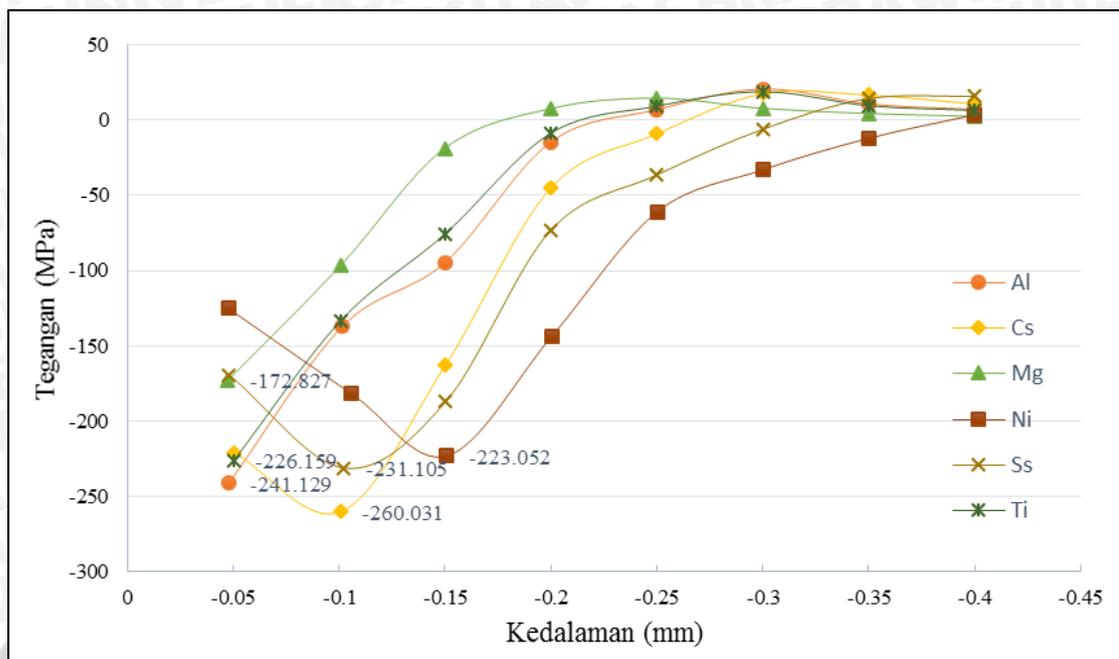
Dan jika kita lihat karakteristik pada semua jenis variasi *base material*, titik penembakan 3 memiliki kedalaman penetrasi tegangan sisa tekan yang lebih baik dibandingkan dengan titik penembakan 1 dan 2 pada mayoritas variasi *base material*. Hal ini disebabkan karena pada titik penembakan 3 terdapat tegangan sisa yang yang dihasilkan oleh titik penembakan 2 sehingga dapat dikatakan bahwa tegangan sisa yang terjadi pada titik penembakan 3 merupakan akumulasi tegangan sisa titik penembakan 2 dan penembakan 3.



Gambar 4.26 : Vektor tegangan (a) akhir tumbukan pertama (b) akhir penembakan pertama (c) akhir tumbukan kedua (d) akhir penembakan kedua pada material Nickel

Dengan melihat gambar 4.26 yang merupakan vektor tegangan yang terjadi pada material *nickel* kita juga dapat membuktikan bahwa tegangan sisa yang terjadi merupakan tegangan sisa tekan dan fenomena yang menyebabkan titik penembakan 3 memiliki kedalaman penetrasi yang lebih baik dari titik penembakan 1 dan 2. Fenomena yang menyebabkan kedalaman penetrasi tegangan sisa pada titik penembakan 2 yang diakibatkan oleh titik penembakan 3 juga dapat terlihat. Berkurangnya ke dalam penetrasi tegangan sisa pada titik penembakan 2 disebabkan berubahnya arah vektor tegangan sisa yang sebelumnya menekan titik penembakan 2 berubah arah menekan titik penembakan 3. Jika kita lihat kondisi awal setelah penembakan pertama pada gambar 4.26 (b) yang merupakan titik penembakan 2. Tegangan sisa menekan titik penembakan 2 pada kedalaman tertentu dan tegangan sisa terbesar pada titik penembakan 2 di tunjukkan dengan garis biru muda pada gambar 4.26 (b). Namun saat terjadi penembakan kedua pada titik penembakan 3 terlihat terdapat gaya tekan yang mengarah ke titik penembakan 2 dan mengubah vektor gaya pada gambar 4.26 (b). Setelah penembakan 2 berakhir gaya tersebut berubah arah menekan titik penembakan 3 yang menyebabkan tegangan sisa terbesar pada titik penembakan 2 berpindah pada permukaan titik penembakan 2.

#### 4.2.2. Pengaruh *Material Properties* terhadap tegangan sisa



Gambar 4.27 Grafik perbandingan tegangan sisa – kedalaman tiap material

Tabel 4.1 *Material properties* masing-masing variasi material

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

Dari gambar 4.27 dapat terlihat bahwa tegangan sisa paling besar 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* 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 0,05 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 .

Besar tegangan sisa yang dapat ditimbulkan dari material yang diberi proses *shot peening* sangat dipengaruhi oleh besar nilai tegangan *yield* dan modulus elastisitas dari material. Dengan mengetahui seberapa besar nilai tegangan *yield* material kita dapat mengetahui seberapa besar tegangan yang terjadi pada material tersebut untuk mengalami deformasi plastis dan nilai modulus elastisitas material berperan dalam menyimpan tegangan sisa setelah proses *shot peening*.

Jika melihat dari gambar 4.27 dan grafik 4.1 kita dapat membandingkan pengaruh tegangan *yield* dan modulus elastisitas terhadap tegangan sisa yang dihasilkan oleh material. Jika dengan asumsi bahwa semakin besar nilai tegangan *yield* semakin besar pula tegangan sisa yang dapat dihasilkan maka hal tersebut dapat dibenarkan di mana 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. Besar nilai modulus elastisitas ini juga yang menyebabkan nilai tegangan sisa maksimal terjadi pada kedalaman tertentu. Pada material dengan nilai modulus elastisitas yang besar seperti *carbon steel*, *Nickel* dan *stainless steel* nilai besar tegangan sisa maksimalnya terjadi pada ke dalam 0,1 – 0,15 mm dari permukaan material. Sedangkan pada material dengan modulus elastisitas yang kecil seperti aluminium, magnesium dan titanium tegangan sisa maksimumnya terjadi pada permukaan material.