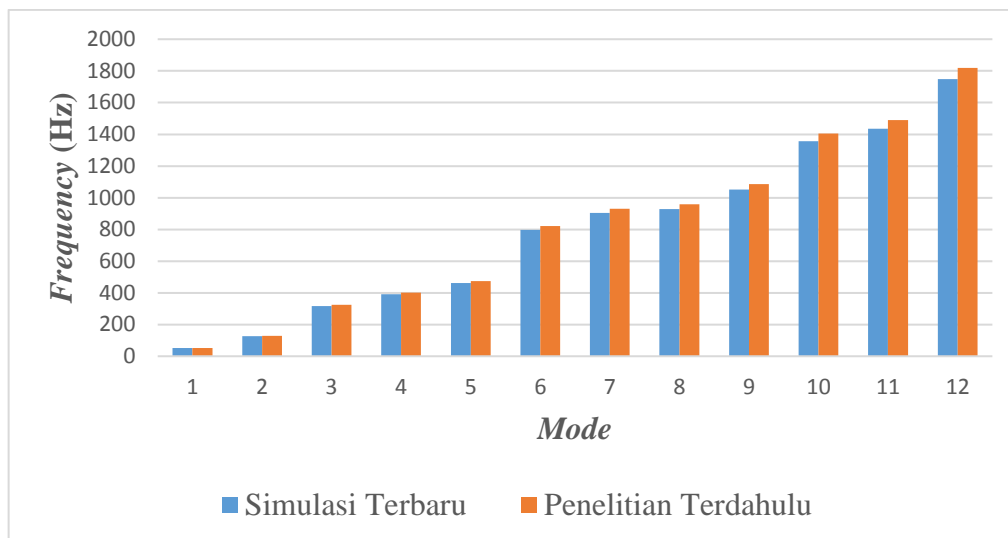


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dengan menggunakan metode simulasi dilakukan dengan tujuan mendapatkan data berupa frekuensi natural dan tegangan impact yang terjadi pada senjata keris. Proses mendapatkan data melalui simulasi dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga atau *Finite Element Method (FEM)*. Simulasi dilakukan dengan membuat 3 variasi bentuk keris untuk membandingkan data hasil simulasi dari masing-masing variasi. Data yang telah diperoleh dari simulasi ini kemudian dianalisa untuk mengetahui bagaimana variasi bentuk Luk pada keris berpengaruh terhadap performa keris terhadap penggunaannya sebagai senjata. Pemodelan simulasi dengan *modal analysis* untuk mengetahui frekuensi natural dan *explicit dynamic* untuk mengetahui tegangan impact. Simulasi menggunakan metode elemen hingga (FEM) dengan menggunakan software Ansys workbench. Penelitian ini menggunakan material AISI 1095 sebagai bahan utama pembuatan keris. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan perbedaan Luk pada senjata keris. Jumlah Luk yang divariasikan adalah Luk 3, Luk 7 dan Luk 13.

### 4.1 Validasi Pemodelan

Validasi pemodelan dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi terbaru, dengan data hasil penelitian terdahulu. Pada penelitian ini digunakan data penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Lenggana dkk [6] sebagai data pembanding dengan penelitian terbaru. Perbedaan data hasil simulasi terbaru tidak boleh lebih dari 5% dibandingkan dengan simulasi terdahulu agar parameter-parameter yang digunakan pada simulasi FEM menjadi valid dan dapat dipertanggung jawabkan. Rata-rata deviasi adalah 2,93% antara penelitian Lenggana dkk dengan simulasi terbaru. Hasil ini menunjukkan bahwasanya deviasi memiliki nilai yang cukup kecil yaitu dibawah 3%. Hal ini berarti pemodelan yang digunakan sudah valid dan dapat dipertanggung jawabkan. Kurva hubungan mode dan frekuensi yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kurva hubungan mode dengan frekuensi yang dihasilkan pada penelitian Lenggana dkk [6] dibandingkan dengan simulasi terbaru.

Perbedaan data simulasi yang terlihat pada Gambar 4.1 antara penelitian Lenggana dkk[6] dengan penelitian terbaru disebabkan oleh perbedaan spesifikasi hardware dan versi perangkat lunak yang digunakan. Perbedaan ini mengakibatkan perbedaan software dalam menerjemahkan dan menganalisa perintah *meshing* yang mengakibatkan adanya sedikit perbedaan data hasil simulasi. Selain itu proses perancangan gambar yang menggunakan *Solidworks* pada simulasi terbaru juga sedikit berpengaruh terhadap *meshing* yang dilakukan oleh software ansys. Namun perbedaan deviasi antara penelitian Lenggana dkk [6] dan simulasi terbaru hanya sebesar 3% yang berarti simulasi sudah valid dan dapat dipertanggung jawabkan.

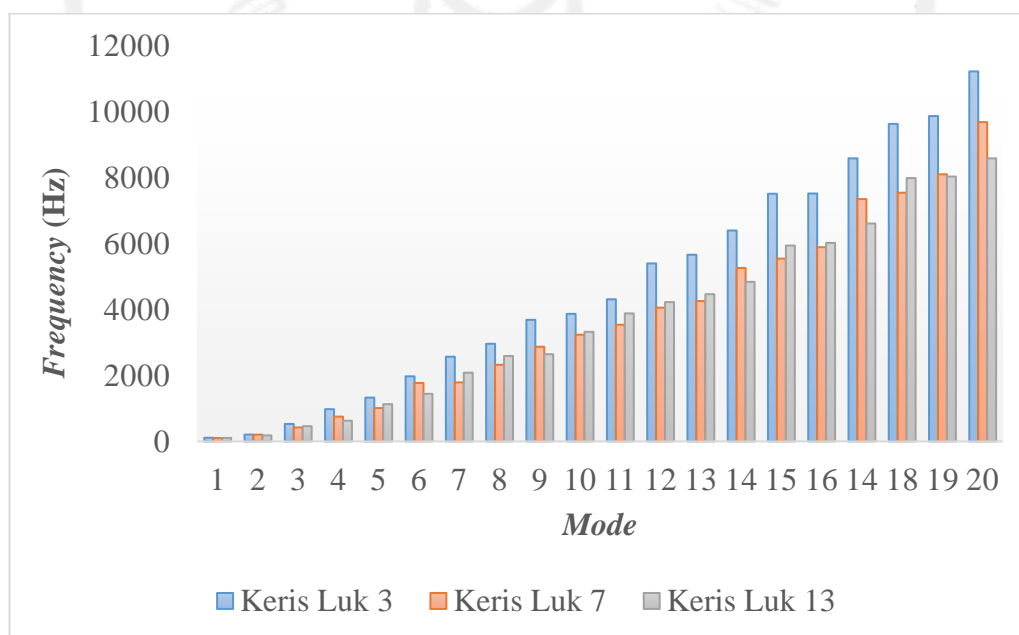
## 4.2 Hasil Simulasi

### 4.2.1 Frekuensi natural

Frekuensi natural dari 3 variasi keris didapat melalui *modal analysis* pada ANSYS. *Modal analysis* diperlukan untuk membantu menentukan karakteristik getaran yaitu frekuensi natural dan *mode shapes* dari sebuah struktur mekanik atau komponen saat diberikan pembebanan dinamis. Frekuensi natural adalah frekuensi osilasi yang dimiliki oleh suatu sistem dimana getaran oleh sistem ini dibiarkan tanpa tambahan peredam. Frekuensi natural sangat dipengaruhi oleh massa dan kekakuan dari suatu struktur. Karena massa merupakan salah satu faktor terpenting

dalam menentukan nilai dari frekuensi natural maka pada simulasi ini massa dari masing-masing variasi keris didesain dengan massa yang besarnya sebisa mungkin sama. Kekakuan pada ketiga jenis keris juga disamakan dengan cara menyamakan jenis material pada semua variasi keris.

Pada simulasi variasi ketiga keris memiliki panjang bilah yang berbeda dengan tujuan untuk menyamakan massa pada keris. Bentuk keris yang berbeda-beda membuat proses menyamakan massa variasi ketiga jenis keris menjadi sulit untuk dicapai. Proses yang sulit ini terpaksa menghasilkan massa yang berbeda pada setiap keris. Perbedaan massa antara ketiga variasi keris tidak mencapai 2%. Perbandingan nilai frekuensi natural dari ketiga variasi keris dapat dilihat pada Gambar 4.2 Kurva perbandingan frekuensi natural antara 3 variasi keris. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil frekuensi natural dari ketiga variasi keris. Keris dengan variasi Luk 3 memiliki nilai frekuensi natural terbesar pada setiap mode dibandingkan dengan variasi keris lainnya. Besarnya nilai natural frekuensi dari keris Luk 3 disebabkan oleh dimensi keris Luk 3 yang memiliki panjang yang lebih pendek dari variasi keris lainnya. Hal ini sudah sesuai teori dimana semakin pendek bilah maka nilai frekuensi natural yang dihasilkan semakin besar [11].



Gambar 4.2 Kurva perbandingan frekuensi natural antara 3 jenis variasi keris

Untuk melihat lebih jelas mengenai nilai frekuensi natural dari masing-masing variasi keris, maka dapat dilihat pada Tabel 4.1 Nilai frekuensi natural masing-masing variasi keris.

Tabel 4.1 Nilai frekuensi natural masing-masing keris

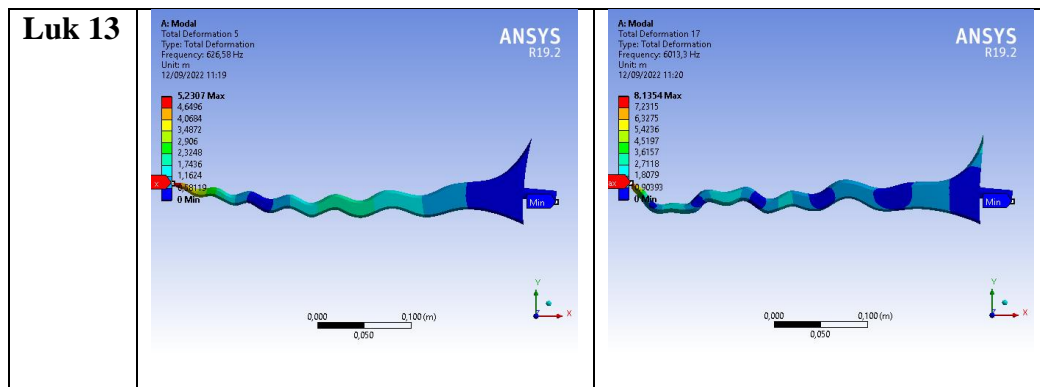
<b>Mode</b>	<b>Keris Luk 3 (Hz)</b>	<b>Keris Luk 7 (Hz)</b>	<b>Keris Luk 13 (Hz)</b>
1	110.7	101.45	105.96
2	206.39	204.7	181.4
3	528.8	423.12	460.28
4	976.73	750.78	626.58
5	1327.2	1010.1	1128.1
6	1970.6	1770.3	1441
7	2565.3	1786.3	2081.7
8	2956.6	2320.6	2586.8
9	3682	2867.8	2640.8
10	3863.1	3231.7	3318
11	4304.7	3533.6	3877
12	5391	4050.5	4219.5
13	5653.9	4251.2	4459.7
14	6388.1	5252.9	4832.1
15	7501.7	5537.5	5931.9
16	7508.7	5881.7	6013.3
14	8573.5	7340.2	6600.2
18	9615.8	7533	7976.1
19	9854.4	8090.5	8021.8
20	11206	9672.1	8572.9

Sebagai contoh perbedaan urutan besarnya nilai frekuensi natural dari masing-masing variasi keris bisa dilihat pada mode 4 dan mode 16. Tabel 4.1 menunjukkan bagaimana kontur dari total deformasi mode 4 dan 16 pada variasi

keris Luk 7 dan Luk 13. Pada mode 4, keris Luk 3 memiliki nilai frekuensi natural sebesar 976,73 Hz, kemudian keris Luk 7 memiliki nilai frekuensi natural sebesar 750,78 Hz, dan keris Luk 13 memiliki nilai frekuensi natural sebesar 626,58 Hz. Keris dengan variasi Luk 3 memiliki nilai frekuensi natural terbesar, kemudian keris Luk 7 dan Luk 13. Pada mode 16, keris Luk 3, Luk 7 dan Luk 13 nilai frekuensi natural sebesar 7508,7 Hz, 5881,7 Hz dan 6013,3 Hz. Pada mode 16, nilai frekuensi natural terbesar diraih oleh Luk 3, kemudian keris Luk 13 dan Luk 7. Ada perbedaan urutan nilai frekuensi natural pada mode 4 dan mode 16 dimana pada mode 4 keris Luk 7 memiliki nilai frekuensi natural terbesar kedua sedangkan pada mode 16 nilai frekuensi natural terbesar kedua diraih oleh keris Luk 13. Untuk melihat lebih jelas mengetahui penyebab nilai variasi Luk 13 yang lebih tinggi di beberapa mode dibandingkan dengan Luk 7, maka akan diambil sampel kontur pada mode 4 dan mode 16.

Tabel 4.2 Kontur dari *total deformation mode 4 dan 16 pada variasi Luk 7 dan Luk 13*

Variasi	Mode	
	4	16
Luk 7		



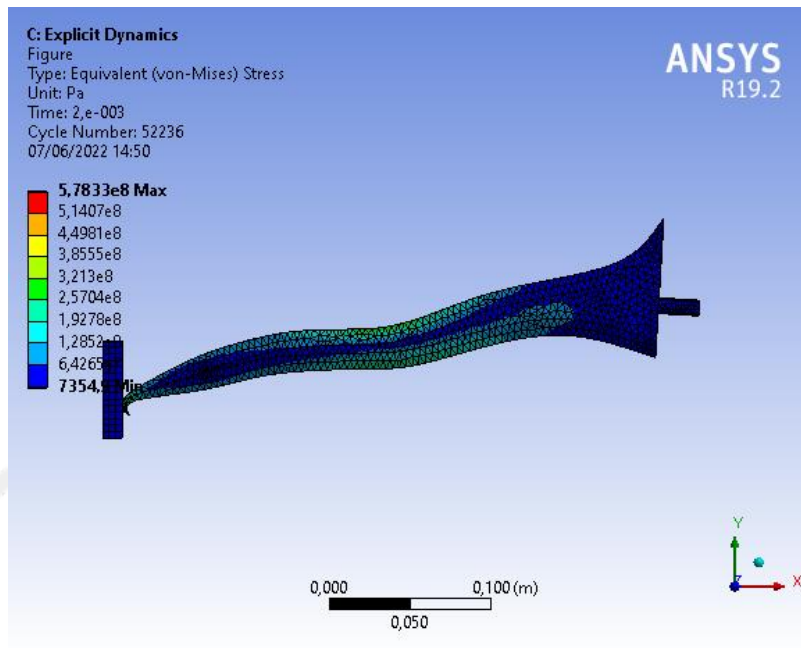
Pada Tabel 4.1 terlihat bahwasanya pada mode 4, variasi Luk 7 dan Luk 13 memiliki *total deformation* maksimal yang sama-sama terletak pada ujung keris. Namun pada mode 16 terjadi perbedaan letak titik maksimum nilai *total deformation* dimana keris dengan variasi Luk 7 memiliki nilai maksimum yang berada pada pangkal keris sedangkan pada variasi Luk 13 pada ujung keris. Hal ini diakibatkan oleh penampang keris Luk 13 yang memiliki penampang yang lebih kecil sehingga getaran dapat diredam pada ujung keris, sedangkan pada keris Luk 7 memiliki penampang yang lebih besar sehingga getaran menjalar pada hingga pangkal keris. Perbedaan kontur pada mode 4 dan 16 mengakibatkan urutan nilai frekuensi natural dari kedua mode tersebut menjadi berbeda juga.

#### 4.2.2 Tegangan *Von mises* saat tumbukan depan

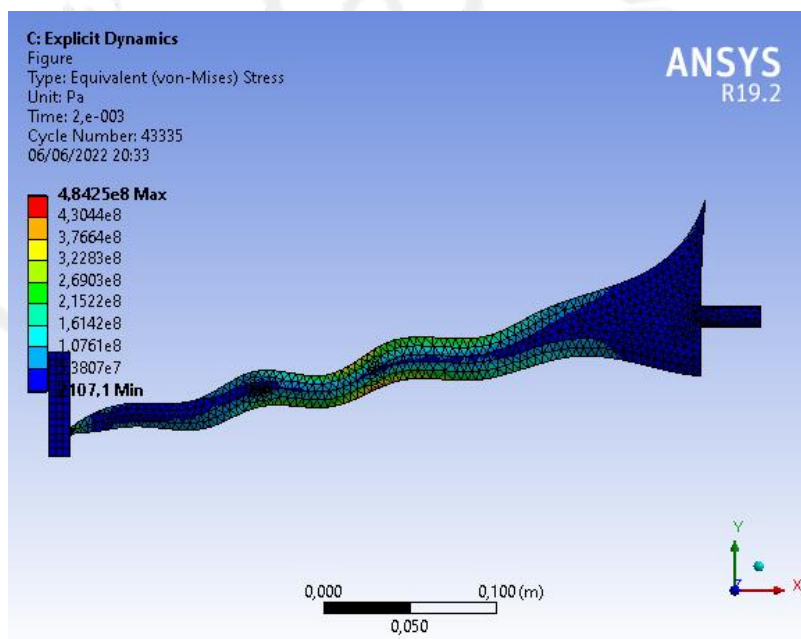
Simulasi tumbukan menggunakan *explicit dynamic* yang terdapat pada perangkat lunak Ansys. *Explicit dynamic* adalah sebuah sub program yang berfungsi untuk menampilkan simulasi variasi pada berbagai bidang rekayasa termasuk di dalamnya adalah permodelan dinamik *nonlinier* seperti benda padat, cair, gas serta interaksi antara berbagai jenis benda tersebut. Ansys *Explicit Dynamic* digunakan untuk melakukan visualisasi fisik dalam waktu singkat pada suatu permodelan dapat dilakukan.

Permodelan simulasi ini menggambarkan bagaimana gerakan penusukan. Simulasi ini dijalankan dengan pergerakan keris pada sumbu X yang akan menghantam *impactor* sebagai benda yang diam dengan kecepatan sebesar 8,4 m/s dengan *peak force* sebesar 1885 N dimana pengaturan tersebut didapat dari

penelitian yang mengamati respon pisau ketika dilakukan gerakan penusukan pada baju perang[32].

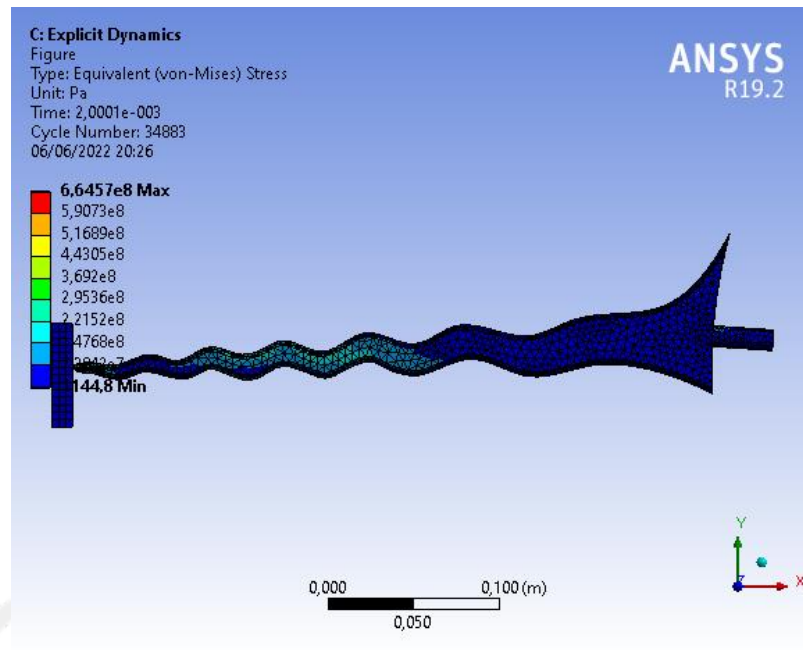


Gambar 4.3 Tegangan *von mises* Luk 3 impak depan



Gambar 4.4 Tegangan *von mises* Luk 7 impak depan





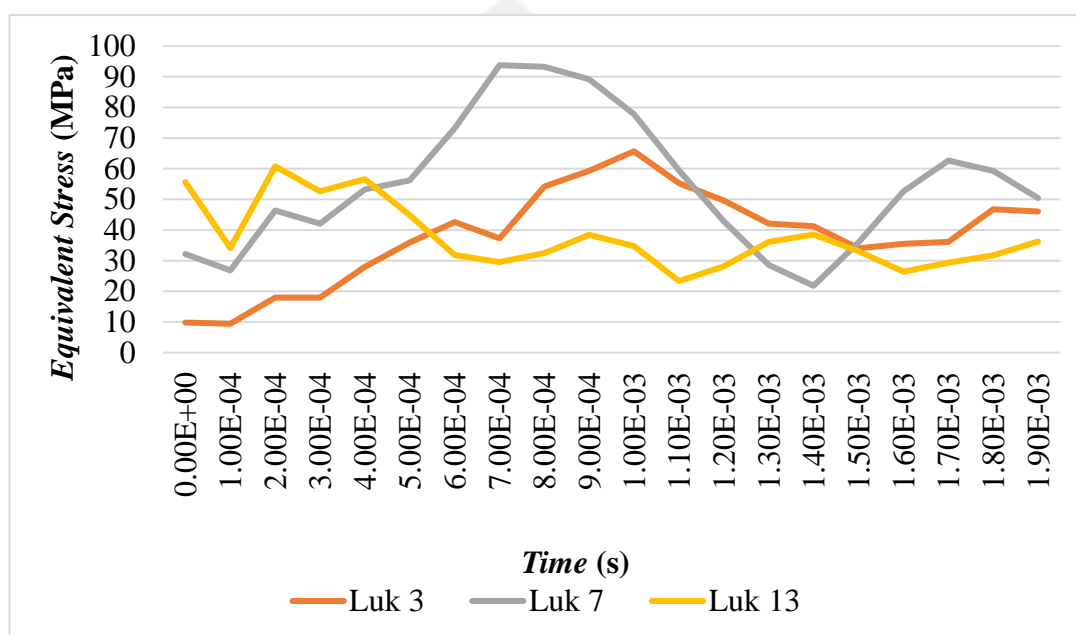
Gambar 4.5 Tegangan *von mises* Luk 13 impak depan

Gambaran kontur hasil simulasi impak depan dengan gerakan penusukan terdapat pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5. Gambar tersebut menunjukkan perbedaan hasil tegangan dan kontur yang pada ketiga variasi keris yang disimulasikan. Tegangan *von mises* terbesar dihasilkan oleh keris dengan variasi Luk 13 dengan besar 664 MPa, kemudian keris Luk 3 dengan besar 578 Mpa dan yang terkecil adalah keris Luk 7 dengan besar 484 Mpa. Berdasarkan warna kontur yang dihasilkan pada simulasi maka dapat diamati pada semua jenis keris bahwa tegangan terbesar dihasilkan ketika keris menumbuk *impactor* pada ujung bagian keris. Sebaran tegangan berdasarkan warna kontur pada keris dengan variasi Luk 3 tersebar pada lekukan kedua kemudian pada keris dengan variasi Luk 7 pada lekukan kelima dan Luk 13 pada lekukan ketujuh. Hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan jumlah lekukan oleh masing masing bentuk keris. Sebaran kontur terbesar yang menggambarkan luasnya sebaran tegangan yang terjadi pada keris yang ditandai dengan warna kuning cenderung berada pada bagian tengah-tengah keris sehingga mengakibatkan adanya perbedaan letak sebaran berdasarkan lekukan keris. Tegangan terbesar yang dihasilkan oleh keris dengan variasi Luk 13 diakibatkan oleh bentuk keris yang cenderung lurus dengan *impactor*. Keris dengan variasi Luk 3 memiliki tegangan maksimal yang lebih besar daripada keris variasi



Luk 7 karena memiliki bentuk yang lebih lurus dengan *impactor* sehingga memiliki sudut tabrakan yang lebih kecil.

Dari simulasi impact depan yang telah dilakukan terdapat data berupa rata-rata Tegangan *von mises* dibandingkan waktu dengan pengaturan *end time* sebesar 0,002 s dari variasi keris Luk 3, 7 dan 13. Kurva perbandingan data simulasi berupa rata-rata tegangan *von mises* dibanding waktu dari variasi keris Luk 3, Luk 7 dan Luk 13 dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6.

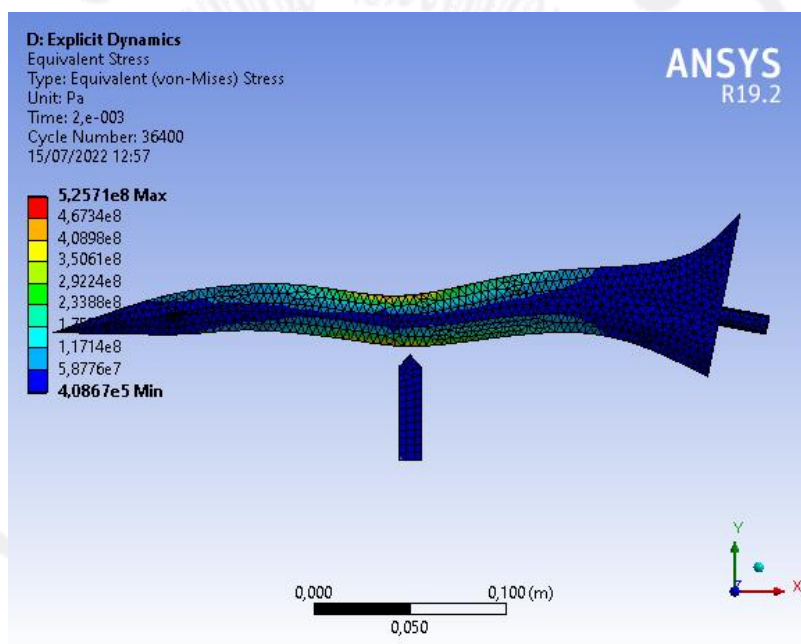


Gambar 4.6 Kurva perbandingan tegangan *von mises* dibanding waktu antara 3 jenis variasi keris

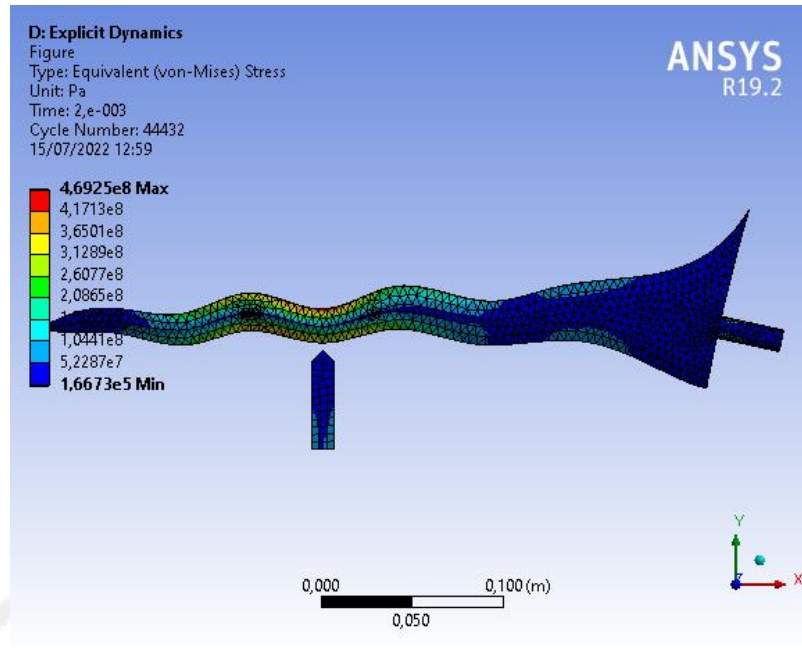
Tegangan impact terjadi sangat cepat dengan waktu sepersekian *milisecond* saja. Terjadinya impact atau tumbukan ditandai dengan adanya puncak/*peak* yang terdapat pada grafik karena adanya gerakan keris menumbuk *impactor*. Terlihat pada Gambar 4.6 tersebut bahwa keris dengan variasi Luk 7 memiliki puncak yang paling besar dengan rata-rata tegangan *von mises* sebesar 93,7 Mpa namun juga memiliki tegangan terbesar ketika *ends time*. Keris dengan variasi Luk 3 memiliki tegangan *peak* dan tegangan memasuki *ends time* sama-sama memiliki nilai terbesar kedua dibandingkan variasi keris yang lain. Keris dengan variasi Luk 13 memiliki tegangan saat *peak* dan *ends time* terendah.

### 4.2.3 Tegangan *von mises* saat tumbukan sisi

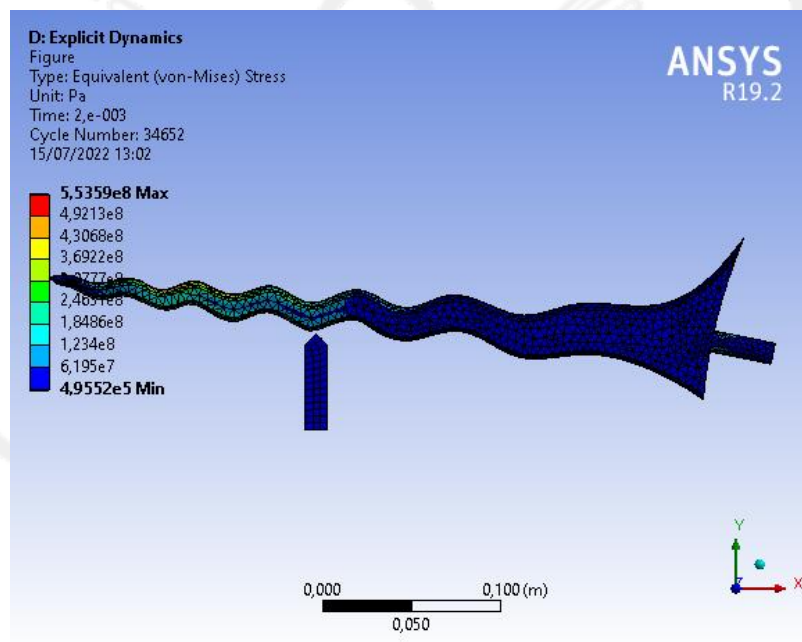
Permodelan simulasi ini menggambarkan bagaimana gerakan menyayat. Simulasi ini dijalankan dengan pergerakan keris pada sumbu Y yang akan menghantam *impactor* sebagai benda yang diam dengan kecepatan sebesar 10,4 m/s dan dengan *peak force* sebesar 175 N yang didapat dari penelitian tentang gerakan menyayat oleh sebuah pisau yang dikenakan pada baju kevlar [32]. Pengenaan tumbukan berada pada tengah jumlah lekukan yang dimiliki oleh masing-masing bentuk keris. Pengenaan pada tengah jumlah Luk keris dilakukan karena apabila dikenakan tepat pada tengah dimensi keris maka tumbukan akan mengenai bagian lekukan yang berbeda dari masing-masing keris sehingga menghasilkan reaksi yang berbeda.



Gambar 4.7 Tegangan *von mises* Luk 3 impak sisi



Gambar 4.8 von mises Luk 7 impak sisi

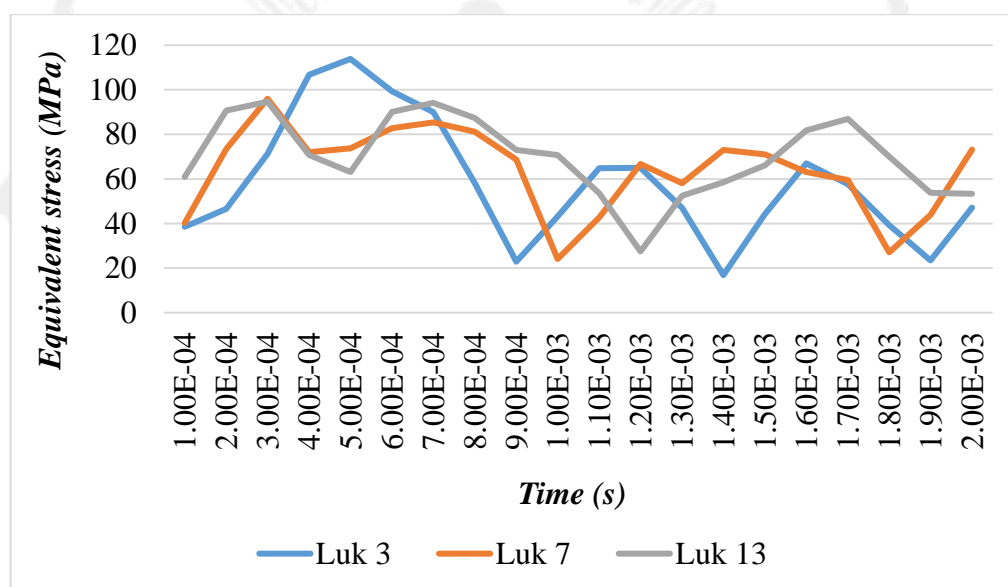


Gambar 4.9 von mises Luk 13 impak sisi

Gambaran kontur hasil simulasi impak sisi dengan gerakan menyayat terdapat pada gambar 4.7 hingga gambar 4.9. Gambar tersebut menunjukkan perbedaan hasil tegangan dan kontur yang memiliki perbedaan pada ketiga variasi keris yang disimulasikan dengan tumbukan atas. Hasil simulasi pada impak sisi memiliki

urutan terbesar hingga terkecil yang sama dengan urutan simulasi dengan dampak depan. Tegangan *von mises* terbesar dihasilkan oleh keris dengan variasi Luk 13 dengan besar 553 MPa, kemudian keris Luk 3 dengan besar 525 Mpa dan yang terkecil adalah keris Luk 7 dengan besar 469 Mpa. Berdasarkan sebaran kontur dari hasil variasi keris tersebut terlihat bahwa sebaran tegangan banyak berada pada daerah terjadinya benturan kemudian cenderung tersebar pada daerah yang memiliki penampang yang kecil yaitu pada ujung keris.

Dari simulasi dampak sisi yang telah dilakukan di dapatkan data berupa rata-rata Tegangan *von mises* dibandingkan waktu dengan pengaturan *end time* sebesar 0,003 s dari variasi keris Luk 3, 7 dan 13. Kurva perbandingan data simulasi dampak sisi berupa rata-rata tegangan *von mises* dibanding waktu dari variasi keris Luk 3, Luk 7 dan Luk 13 dapat ditunjukkan pada Gambar 4.10.



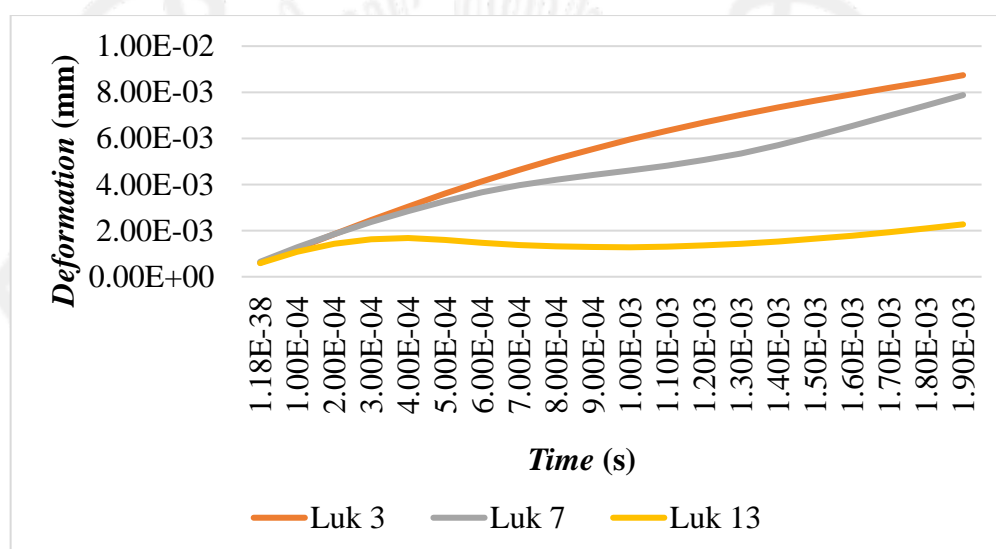
Gambar 4.10 Kurva perbandingan tegangan *von mises* dibanding waktu antara 3 jenis variasi keris

Gambar 4.10 tersebut menunjukkan bahwa keris dengan variasi Luk 3 memiliki *peak* yang paling tinggi setelah terjadinya tumbukan dengan nilai Tegangan *von mises* sebesar 114 MPa. Terlihat pada grafik tersebut bahwa keris dengan variasi Luk 3 memiliki tegangan tertinggi namun cukup baik dalam meredam tegangan hingga memiliki tegangan terbesar kedua hingga *ends time*.

Variasi keris Luk 7 memiliki tegangan terbesar kedua pada *peaknya* pada 96 MPa namun pada saat *ends time* memiliki nilai tegangan terbesar. Pada keris Variasi Luk 13 memiliki tegangan terendah pada *peaknya* pada 94 MPa namun memiliki tegangan tertinggi kedua pada saat *ends time*.

#### 4.2.4 Total Deformation

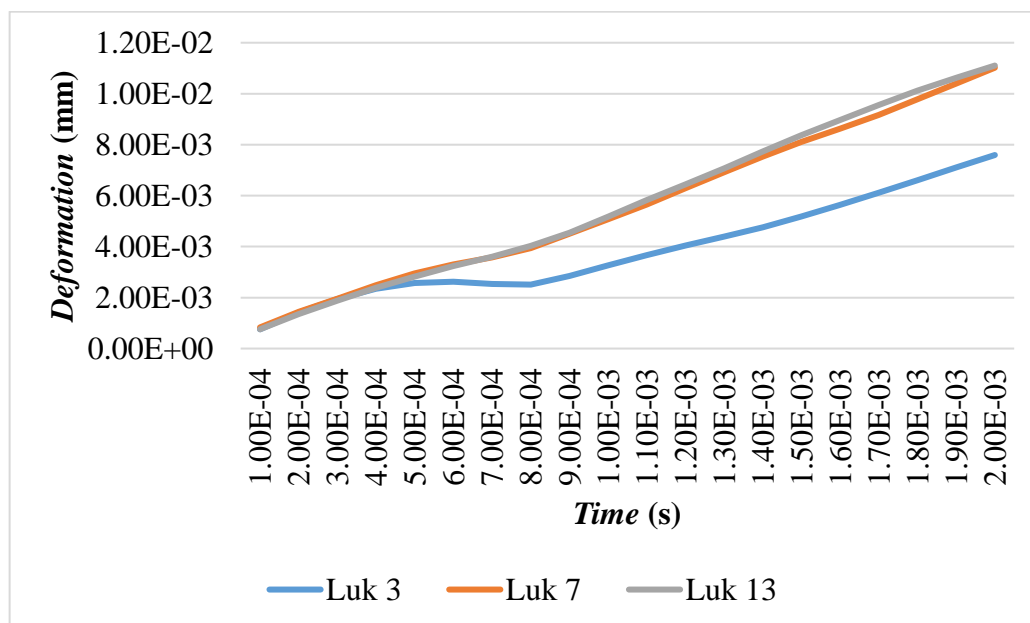
Selain membandingkan nilai tegangan dari 3 variasi keris, pada penelitian kali ini juga akan dibandingkan data penelitian berupa *total deformation* yang digunakan sebagai data pendukung. *Total deformation* adalah sebuah pilihan pada fungsi Ansys untuk melihat semua hasil deformasi dari benda yang disimulasikan dalam tiga koordinat X,Y, dan Z.



Gambar 4.11 Rata-rata *total deformation* simulasi impact depan

Tren kurva pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa variasi Luk berpengaruh terhadap nilai *total deformation* yang dihasilkan saat terjadinya tumbukan depan atau gerakan menusuk. Saat *starting time* pada keris variasi Luk 3, Luk 7 dan Luk 13 menunjukkan deformasi berturut-turut sebesar  $6,04 \times 10^{-3}$  mm,  $6,5 \times 10^{-3}$  mm dan  $5,9 \times 10^{-3}$  mm. Sedangkan saat *ends time* pada keris menunjukkan deformasi berturut-turut sebesar  $8,74 \times 10^{-3}$  mm,  $7,88 \times 10^{-3}$  mm, dan  $2,27 \times 10^{-3}$  mm. Pada kurva tersebut menunjukkan nilai *total deformation* terbesar dihasilkan oleh keris Luk 3 kemudian Luk 7 dan Luk 13 secara berurutan. Dari Gambar 4.11

menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah Luk pada keris maka *total deformation* yang dihasilkan semakin kecil.



Gambar 4.12 Rata-rata *total deformation* simulasi impact sisi

Tren kurva pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa variasi Luk berpengaruh terhadap nilai *total deformation* yang dihasilkan saat terjadinya tumbukan atas atau gerakan menyayat. Saat *starting time* pada keris variasi Luk 3, Luk 7 dan Luk 13 menunjukkan deformasi berturut-turut sebesar  $7,54 \times 10^{-3}$  mm,  $8,29 \times 10^{-3}$  mm dan  $7,56 \times 10^{-3}$  mm. Sedangkan saat *ends time* pada keris menunjukkan deformasi berturut-turut sebesar  $7,59 \times 10^{-2}$  mm,  $11,01 \times 10^{-2}$  mm, dan  $11,10 \times 10^{-2}$  mm. Pada kurva tersebut menunjukkan nilai *total deformation* terbesar dihasilkan oleh keris Luk 13, kemudian Luk 7, dan Luk 3 secara berurutan. Dari Gambar 4.12 juga menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah Luk pada keris maka *total deformation* yang dihasilkan juga semakin besar.