

Perancangan Sistem Dudukan Senjata dan Sistem Isolasi Getaran pada Kendaraan Tempur Darat

Dr. I Wayan Suweca^{1,a}, Rianto Adhy Sasongko, Ph.D^{1,b} dan Muhammad Nanda Setiawan^{1,c}

¹Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Indonesia
Email: ^acsuweca@edc.itb.ac.id, ^bsasongko@ae.itb.ac.id, ^cnandavit.setiawan@gmail.com

Abstrak

SPM2-V2 adalah jenis senapan mesin buatan PT PINDAD yang sering digunakan dalam operasi militer untuk medan perang jarak pendek dan medium. Saat ini penggunaan senapan mesin SPM2-V2 dilakukan secara konvensional dengan mengandalkan keahlian operator dalam membidik sasaran. Penggunaan secara konvensional tersebut membawa konsekuensi tingginya resiko operator mengalami cedera akibat tembakan musuh. Oleh karena itu dibutuhkan pengembangan alat untuk membuat mode pengoperasian secara otomatis dengan tingkat akurasi target yang tetap tinggi seperti ketika digunakan secara konvensional. Dalam penelitian ini dilakukan perancangan sistem dudukan senjata serta sistem isolasi getarannya untuk senjata SPM2-V2. Tujuannya adalah untuk mereduksi getaran yang diakibatkan oleh gaya eksitasi senjata agar simpangan pada sasaran masih masuk ke dalam batas toleransi yang telah ditentukan, yaitu maksimum sebesar 100 mm untuk jangkauan efektif 300 m. Selain itu juga dilakukan optimasi parameter rasio getaran untuk mengoptimalkan kinerja dudukan senapan mesin SPM2-V2. Berdasarkan hasil perhitungan untuk frekuensi tembakan 4 fps (*firing per second*) dengan jangkauan efektif 300 m dan variasi sudut 0^0-45^0 diperoleh penyimpangan maksimum sebesar 13,2 mm. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa sistem isolasi getaran mampu mereduksi getaran akibat gaya eksitasi senjata dengan simpangan target di bawah 100 mm.

Kata kunci : SPM2-V2, Isolasi Getaran, Rasio Redaman, Jangkauan Efektif, *Firing per second*.

Latar belakang

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan besar yang terdiri dari kumpulan beribu-ribu pulau yang tersebar luas dari Sabang sampai Merauke. Berdasarkan fakta geografis tersebut, maka dibutuhkan sistem pertahanan yang kuat untuk menjaga kedaulatan Indonesia. Dalam penelitian ini akan dikembangkan sistem isolasi getaran yang diaplikasikan pada dudukan senjata pada kendaraan tempur.

Pembuatan sistem isolasi getaran dimaksudkan untuk meningkatkan akurasi tembakan. Pengembangan sistem ini sangat penting karena pada penggunaannya, senjata yang akan dipasang pada dudukan akan dioperasikan secara otomatis. Oleh karena itu masalah akurasi menjadi penting, sehingga sistem dudukan senjata harus memiliki kestabilan dan kinerja yang tinggi untuk mempertahankan akurasi tembakan pada saat digunakan. Dalam penelitian ini ditentukan frekuensi tembakan sebesar 4 fps (*firing per second*). Hal ini didasarkan pada pertimbangan pengalaman penggunaan konvensional, bahwa untuk memperoleh akurasi yang tinggi, maka frekuensi tembakan berkisar antara 2 s/d 3 tembakan per detik. Namun dalam praktiknya pada senjata SPM2-V2 untuk penggunaan *mode*

automatic lebih mudah dioperasikan pada frekuensi tembakan 4 fps. Atas pertimbangan tersebut maka di dalam penelitian ini ditentukan frekuensi tembakan adalah sebesar 4 fps.

Dengan pengembangan sistem isolasi getaran tersebut, diharapkan keakurasian tembakan tetap tinggi walaupun senjata dioperasikan dengan mode otomatis.

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem dudukan senjata beserta sistem isolasi getarannya untuk mereduksi getaran yang diakibatkan oleh gaya eksitasi senjata dengan *settling time* yang cepat agar simpangan dari target masih masuk ke dalam batas toleransi yang telah ditentukan.

Asumsi dan Batasan Masalah

Dalam penelitian ini ditentukan asumsi dan batasan masalah adalah sebagai berikut :

1. Sistem isolasi getaran dudukan senjata diasumsikan sebagai sistem dua derajat kebebasan (2 DOF) yakni untuk orientasi Heaving (sb - Z) dan Pitching (θ).
2. Sistem dudukan senjata dianggap sebagai benda kaku (*rigid body*).

3. Lintasan peluru untuk jangkauan efektif 300 m dianggap berbentuk lintasan lurus untuk semua variasi sudut senjata dari 0^0 – 45^0

5. Analisis Sensitivitas Struktur Dudukan Senjata.
Analisis efek reduksi massa terhadap simpangan target dan aspek manufaktur.

Persyaratan Desain dan Objektif

1. Dudukan senjata harus mampu mereduksi getaran akibat impuls senjata semaksimal mungkin agar simpangan pada target kurang dari 100 mm.
2. Sistem memiliki *settling time* yang cepat untuk mencapai kestabilan. Dalam penelitian ini ditetapkan *settling time* sistem sebesar 0,25 detik, dengan tujuan menjaga keakuratan dari target pada frekuensi tembakan 4 fps (*firing per second*).
3. Berat total dari sistem dudukan senjata didesain seringan mungkin.
4. Sudut tembak senjata (α) dapat divariasikan dari sudut 0^0 sampai 45^0 . Pemilihan range sudut penjejak didasarkan pada pertimbangan jangkauan efektif sebesar 300 m.

Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur.
Dalam penelitian ini dilakukan studi literatur mengenai sistem isolasi getaran yang meliputi: parameter pemilihan nilai konstanta peredam (*dampner*), analisis transmibilitas, perancangan struktur dudukan senjata dan analisis respon sistem teredam.
2. Perancangan Sistem Dudukan Senjata dan Sistem Isolasi Getarannya.
Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem dudukan senjata berdasarkan hasil perhitungan parameter desain yang telah didapatkan yang meliputi pemilihan nilai konstanta peredam dan jarak antar pegas.
3. Analisis Statik Struktur Dudukan Senjata.
Analisis tegangan dan deformasi dari sistem dudukan senjata, uji konvergensi serta optimasi kekakuan struktur dudukan senjata dengan metode elemen hingga.
4. Analisis Dinamik Struktur Dudukan Senjata.
Menentukan frekuensi pribadi dan modus getar sistem dudukan senjata, analisis respon sistem dudukan senjata untuk menentukan simpangan dari target pada jangkauan efektif dan frekuensi tembakan tertentu.

Spesifikasi Senjata

Dalam penelitian ini, jenis senjata yang digunakan adalah jenis senapan mesin tipe SPM2-V2 buatan PT PINDAD. Senjata SPM2-V2 adalah senapan mesin yang dapat dioperasikan dengan manual maupun otomatis tergantung cara penggunaannya. Terdapat dua varian dari jenis SPM2-V2 yakni varian satu dengan dilengkapi *tripod* dan varian dua dengan dilengkapi *bipod*. Dalam penggunaan senjata SPM2-V2 terdapat tiga mode pengoperasian yakni mode *manual*, *semi automatic* dan *full automatic*, untuk saat ini mode pengoperasian manual masih menggunakan operator. Berikut ini adalah gambar dan spesifikasi dari SPM2-V2.



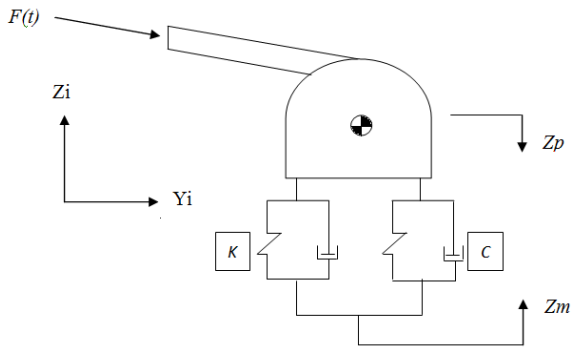
Gambar 1 Senjata SPM2-V2^[1]

Tabel 1 Spesifikasi Senjata SPM2-V2^[1]

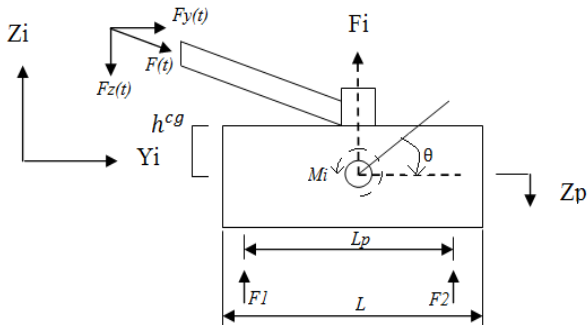
No	Spesifikasi	Nilai	Satuan
1	Tipe	SPM-2V2	
2	Berat kosong	11,58	kg
3	Panjang total	1275	mm
4	Panjang laras	545	mm
5	Frekuensi rata-rata tembakan	850	fpm
6	Kecepatan peluru	840	m/s
7	Jangkauan maksimum	1000	m

Pemodelan dan Analisis

Dalam penelitian ini untuk analisis dinamik sistem dudukan senjata dimodelkan sebagai benda kaku dimana kekakuan struktur dianggap sangat besar. Gaya dinamik yang bekerja pada dudukan senjata akibat impuls tembakan diasumsikan sejajar dengan laras senjata dan input simpangan dari badan kendaraan dianggap konstan. Pada gambar 2 dan gambar 3 ditunjukkan model sistem dudukan senjata serta diagram benda bebasnya :



Gambar 2 Pemodelan sistem dudukan senjata



Gambar 3 Diagram benda bebas sistem
Berdasarkan gambar di atas, persamaan dinamika sistem dapat dituliskan sebagai berikut :
Persamaan D'Alembert arah sumbu Z

$$\sum F_z = 0 \quad (1)$$

$$F_z - \left[M_p \ddot{Z}_p + 2C [\dot{Z}_p - \dot{Z}_m] + 2K [Z_p - Z_m] \right] = 0 \quad (2)$$

Persamaan D'Alembert untuk gerak rotasi θ

$$\sum T = 0 \quad (3)$$

$$M' = J\ddot{\theta} + \frac{1}{2}CL^2\dot{\theta} + \frac{1}{2}KL^2\theta \quad (4)$$

Dengan

$$M' = F_y [L_{laras} \sin \alpha + h^{cg}] - F_z L_{laras} \cos \alpha \quad (5)$$

$$F_y = F \cos \alpha \quad (6)$$

$$F_z = F \sin \alpha \quad (7)$$

Keterangan:

- F_z = Gaya eksitasi senjata arah sumbu Z
- F_y = Gaya eksitasi senjata arah sumbu Y
- F_i = Gaya Inersial Sistem
- M_p = Massa total dudukan senjata
- M_i = Momen Inersia Sistem
- Z_p = Simpangan Dudukan senjata
- Z_m = Simpangan dari badan kendaraan
- L = Panjang Total Dudukan Senjata
- L_p = Jarak antar pegas
- θ = Sudut *pitching* dudukan senjata
- F_1 = Gaya pegas dan *damper* 1(kiri)

- F_2 = Gaya pegas dan *damper* 2 (kanan)
- h^{cg} = Jarak Pusat massa dudukan senjata terhadap pivot

Dengan menyusun ulang persamaan-persamaan di atas maka kita dapat menyatakan *state space* sistem adalah sebagai berikut.

$$\dot{s}_1 = s_2$$

$$(8)$$

$$\dot{s}_2 = \frac{1}{M_p} [F_z - 2Ks_1 - 2Cs_2 + 2Ks_3 + 2Cs_4] \quad (9)$$

$$\dot{s}_3 = s_4$$

$$(10)$$

$$\dot{s}_4 = 0$$

$$(11)$$

$$\dot{s}_5 = s_6$$

$$(12)$$

$$\dot{s}_6 = \frac{1}{J} \left[M' - \frac{1}{2}Ks_5L^2 - \frac{1}{2}Cs_6L^2 \right] \quad (13)$$

Perhitungan Nilai Konstanta Peredam Ekuivalen

Untuk menentukan nilai konstanta peredam yang sesuai dengan persyaratan desain dan objektif, dilakukan perhitungan simpangan target terkecil yang didapat dengan memvariasikan nilai konstanta peredam. Karena sistem memiliki dua derajat kebebasan, maka terdapat dua nilai rasio redaman yang berbeda untuk masing-masing derajat kebebasan, yaitu nilai rasio redaman *heaving* (ζ) dan nilai rasio redaman *pitching* (ζ'). Dengan memvariasikan nilai rasio redaman (ζ) *heaving* antara 0-1, maka akan didapatkan variasi nilai konstanta peredam ekuivalen (C_{eq}) dan variasi nilai rasio redaman *pitching* (ζ').

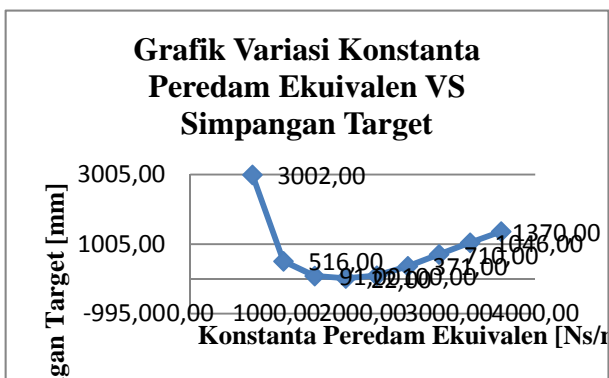
Tabel 2 Variasi (C_{eq}) terhadap variasi nilai rasio redaman *Heaving* (ζ)

No	ζ (<i>Heaving</i>)	C_{eq} [Ns/m]
1	0,1	360
2	0,2	721
3	0,3	1081
4	0,4	1442
5	0,5	1802
6	0,6	2163
7	0,7	2523
8	0,8	2884
9	0,9	3244
10	1,0	3605

Dengan memasukkan data tersebut ke dalam persamaan dinamika sistem, maka akan diperoleh variasi simpangan target terhadap variasi konstanta peredam ekuivalen (C_{eq}) pada jangkauan efektif 300 meter dengan jarak antar pegas 1,2 meter dan frekuensi tembakan 4 fps serta sudut senjata 0^0 seperti yang tersaji di dalam tabel 3 berikut.

Tabel 3 Variasi nilai simpangan target terhadap variasi nilai konstanta peredam ekuivalen

No	ξ	C_{eq} [Ns/m]	Simpangan [mm]
1	0,1	360	15977
2	0,2	721	3002
3	0,3	1081	516
4	0,4	1442	91
5	0,5	1802	22
6	0,6	2163	100
7	0,7	2523	371
8	0,8	2884	710
9	0,9	3244	1046
10	1,0	3605	1370

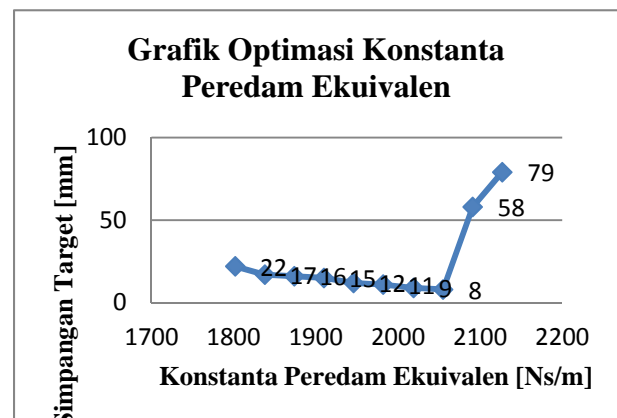


Gambar 4 Variasi nilai simpangan target terhadap variasi nilai konstanta peredam ekuivalen

Berdasarkan data di atas, terlihat simpangan target terkecil dicapai ketika nilai konstanta peredam ekuivalen berada diantara 1802 Ns/m sampai 2163 Ns/m. Untuk mendapatkan nilai simpangan target terkecil dilakukan optimasi dalam pemilihan konstanta peredam ekuivalen optimum direntang selang tersebut dengan memvariasikan nilai konstanta peredam *heaving* (ξ) dari 0,50 – 0,59 seperti yang tersaji di dalam tabel 4 dan gambar 5 berikut.

Tabel 4 Optimasi nilai konstanta peredam ekuivalen terhadap simpangan target

No	ξ	C_{eq} [Ns/m]	Simpangan [mm]
1	0,50	1802	22
2	0,51	1838	17
3	0,52	1874	16
4	0,53	1910	15
5	0,54	1946	12
6	0,55	1982	11
7	0,56	2019	9
8	0,57	2055	8
9	0,58	2091	58
10	0,59	2127	79



Gambar 5 Grafik optimasi nilai konstanta peredam ekuivalen

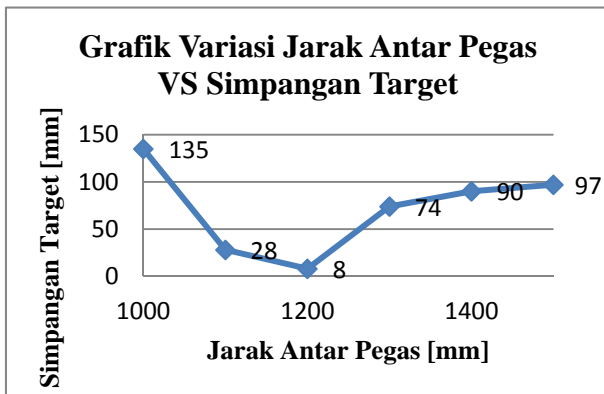
Dari data di atas, maka dipilih nilai konstanta peredam ekuivalen sebesar 2055 Ns/m karena memberikan nilai simpangan target terkecil yaitu sebesar 8 mm pada jangkauan efektif 300 m dan frekuensi tembakan 4 fps. Setelah ditentukan nilai konstanta peredam sebesar 2055 Ns/m, selanjutnya dilakukan perhitungan geometri dudukan senjata yakni jarak antar pegas. Penentuan jarak antar pegas optimum yang akan memberikan simpangan target terkecil akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

Perhitungan Geometri Dudukan Senjata

Dalam mendesain struktur dudukan senjata hal yang harus diperhatikan adalah parameter jarak antar pegas, karena parameter ini yang menentukan besar kecilnya nilai simpangan dari target. Oleh karena itu, perlu dilakukan optimasi jarak antar pegas agar diperoleh nilai simpangan sekecil mungkin dengan batasan berat dudukan senjata. Berikut ini adalah variasi nilai jarak antar pegas dengan simpangan target pada jangkauan efektif 300 meter, frekuensi tembakan 4 fps (*firing per second*) dan sudut senjata 0^0

Tabel 5 Variasi nilai jarak antar pegas terhadap variasi simpangan target

No	Jarak Antar Pegas [mm]	Simpangan [mm]
1	1000	135
2	1100	28
3	1200	8
4	1300	74
5	1400	90
6	1500	97



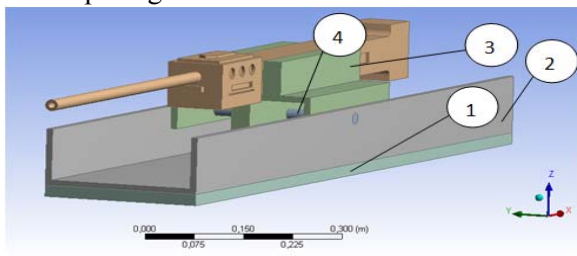
Gambar 6 Variasi nilai Jarak antar pegas terhadap variasi Simpangan target

Berdasarkan hasil yang didapat, jarak antar pegas optimum yang memberikan simpangan target terkecil adalah sebesar 1200 mm. Oleh karena itu dalam penelitian ini ditentukan nilai jarak antar pegas sebesar 1200 mm. Untuk jarak antar pegas di atas 1200 mm respon sistem adalah *overdamped* sehingga nilai simpangan target akan naik kembali.

Analisis Struktur Dudukan Senjata

1. Analisis Statik

Berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan yakni : nilai konstanta pegas, nilai rasio redaman *heaving* (ξ), nilai konstanta peredam dan jarak antar pegas maka ditentukan alternatif desain struktur dudukan senjata seperti terlihat pada gambar 7 berikut.



Gambar 7 Struktur dudukan senjata

Tabel 6 Material dudukan senjata

No	Part	Material	Massa [kg]
1	Dudukan bawah	Steel	48,74
2	Dudukan tengah	Al-6061	13,75
3	Dudukan atas	Al-6061	7,19
4	Silinder penguat	Steel	0,62

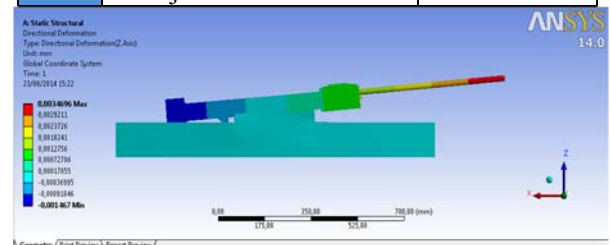
Berikut ini hasil analisis dengan menggunakan *software* ANSYS R15 serta parameter-parameter yang digunakan dalam analisis yang meliputi pemilihan tipe elemen, penentuan kontak atau *boundary condition* antar part dan uji konvergensi.

Tabel 7 Bentuk elemen dari masing-masing bagian (*part*)

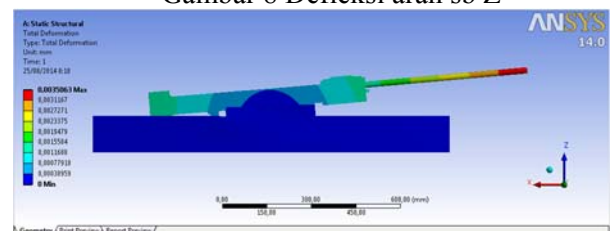
No	Nama Bagian	Jenis Elemen
1	Dudukan bawah	<i>Hexa-Dominant</i>
2	Dudukan tengah	<i>Hexa-Dominant</i>
3	Silinder penguat	<i>Hexa-Dominant</i>
4	Dudukan atas	<i>Hexa-Dominant</i>
5	Senjata	<i>Hexa-Dominant</i>

Tabel 8 Kontak dari masing-masing bagian (*part*)

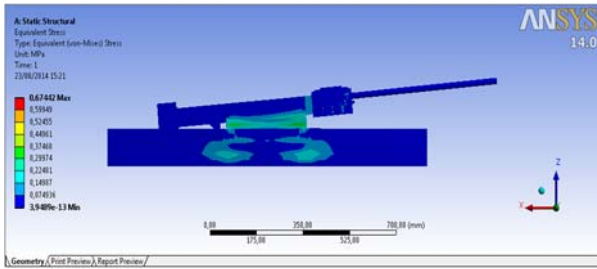
No	Nama Part	Deskripsi
1	Dudukan bawah-dudukan tengah	<i>Bonded</i>
2	Dudukan tengah - silinder penguat	<i>Bonded</i>
3	Silinder penguat-dudukan atas	<i>Bonded</i>
4	Silinder penguat-dudukan tengah	<i>Bonded</i>
5	Senjata - dudukan atas	<i>Bonded</i>



Gambar 8 Defleksi arah sb Z



Gambar 9 Total defleksi



Gambar 10 Tegangan Von Mises

Tabel 9 Hasil analisis struktur dudukan senjata

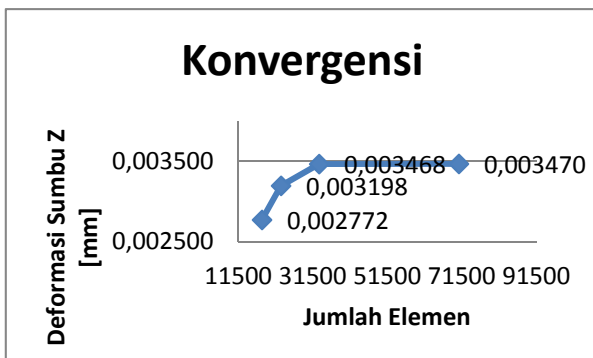
No	Hasil Analisis	Nilai Max	unit
1	Deformasi sb Z	0,0034696	mm
2	Total Deformasi	0,0035063	mm
3	Tegangan Von Mises	0,6744200	MPa

2. Uji Konvergensi

Untuk mendapatkan nilai yang dapat dipertanggungjawabkan, maka dilakukan uji konvergensi. Berikut adalah hasil uji konvergensi dari struktur dudukan senjata.

Tabel 10 Uji konvergensi

No	Jumlah Elemen	Deformasi SB Z [mm]	Error (%)
1	17859	0,002772	0,00
2	22969	0,003198	15,35
3	33175	0,003468	8,46
4	70697	0,003470	0,05

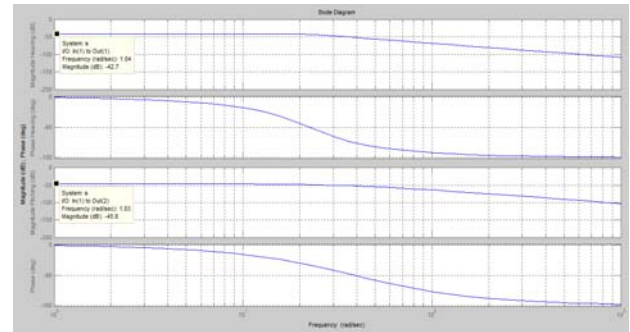


Gambar 11 Grafik hasil uji konvergensi

Berdasarkan data di atas, terlihat sistem konvergen dengan error sebesar 0,05% dengan jumlah elemen 70697 buah. Oleh karena itu, dalam menganalisis struktur dudukan senjata dipilih jumlah elemen *meshing* sebesar 70697 buah.

3. Transmibilitas

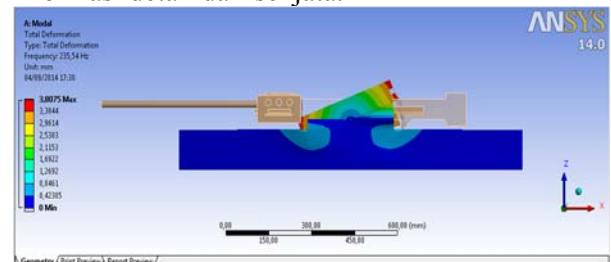
Berikut adalah hasil analisis transmibilitas sistem dudukan senjata berdasarkan diagram bode sistem.



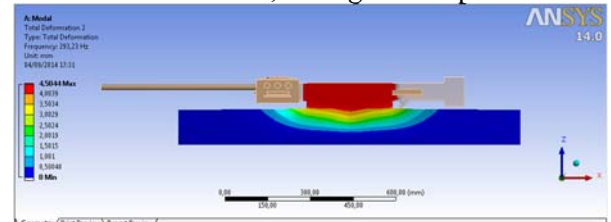
Gambar 12 Grafik hasil uji konvergensi Berdasarkan hasil diagram Bode di atas, gaya input yang ditransmisikan ke struktur dudukan senjata untuk arah *heaving* dan *pitching* terlihat mengalami pengecilan yakni 0,007 kali untuk *heaving* dan 0,005 kali untuk *pitching*.

4. Analisis Dinamik

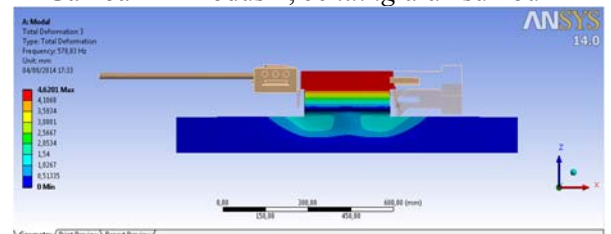
Berikut adalah hasil analisis frekuensi pribadi sistem dudukan senjata untuk delapan modus getar pertama dengan asumsi senjata dianggap sebagai benda kaku akibat dari kurangnya informasi detail dari senjata.



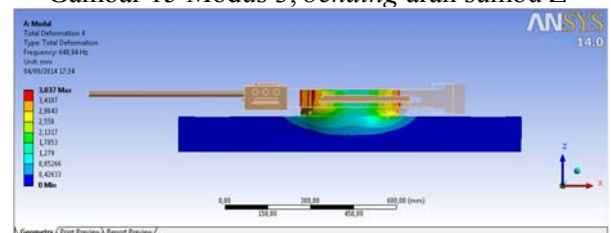
Gambar 13 Modus 1, *rolling* terhadap sumbu Y



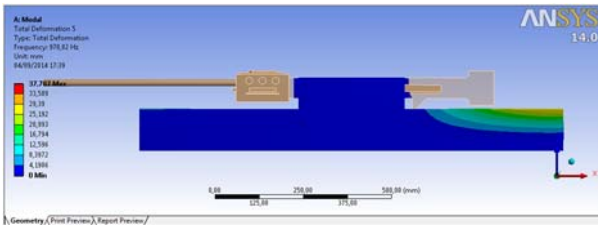
Gambar 14 Modus 2, *bending* arah sumbu Y



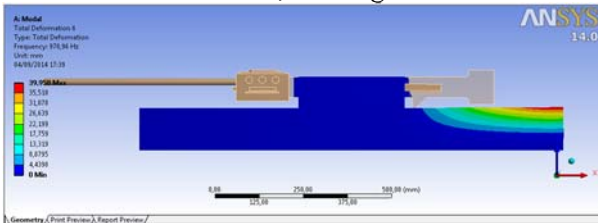
Gambar 15 Modus 3, *bending* arah sumbu Z



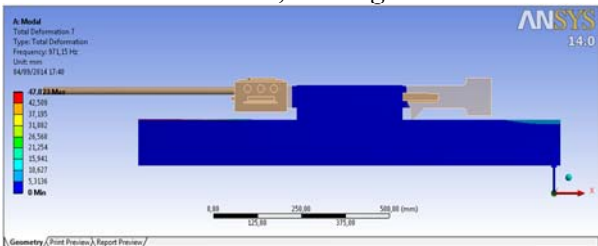
Gambar 16 Modus 4, *translasi* arah sumbu Y



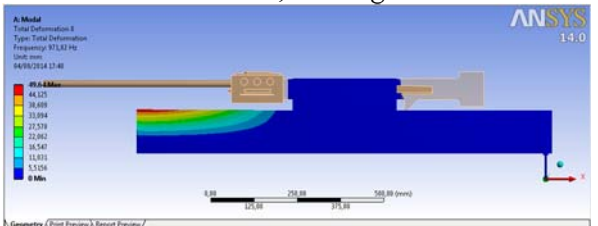
Gambar 17 Modus 5, *bending* arah sumbu Y



Gambar 18 Modus 6, *bending* arah sumbu Y



Gambar 19 Modus 7, *bending* arah sumbu Y



Gambar 20 Modus 8, *bending* arah sumbu Y

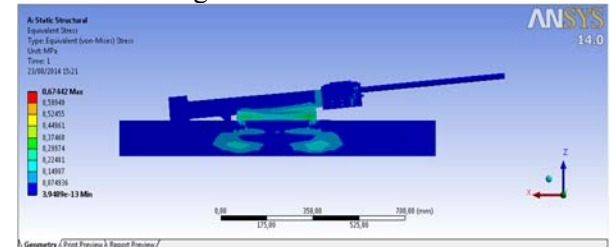
Berdasarkan hasil yang didapat, deformasi arah sumbu Z adalah sebesar 0,00347 mm dan penambahan sudut *pitching* sebesar 0,0003648°. Deformasi arah sumbu Z hanya menambah simpangan dari target sebesar 1,91 mm pada jangkauan efektif 300 m dan frekuensi tembakan 4 fps. Nilai ini sangat kecil sehingga simpangan target masih masuk ke dalam batas toleransi yang telah ditentukan. Selain itu nilai frekuensi pribadi dari sistem dudukan senjata sangat tinggi dibanding dengan frekuensi pengeksitasi sistem sehingga peluang terjadinya *resonansi* akibat frekuensi eksitasi senjata sangat kecil. Oleh karena itu dudukan senjata dapat diasumsikan sebagai benda kaku.

5. Optimasi Geometri Dudukan Senjata

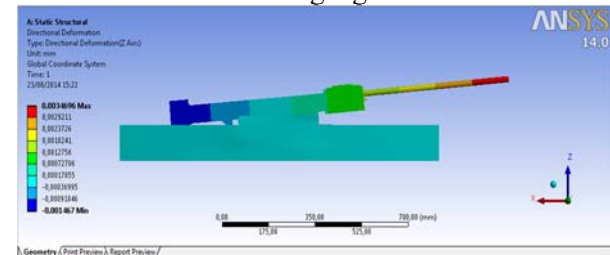
Pada penelitian ini dilakukan optimasi bentuk struktur dudukan senjata dengan mereduksi massa dudukan senjata. Reduksi massa dudukan senjata dilakukan dengan menggunakan pola pemotongan yang konsisten. Yakni dengan memotong bagian dudukan tengah senjata dengan orientasi sudut pemotongan (ψ) mulai dari 0° sampai 9° dari titik tengah dudukan senjata. Berikut adalah hasil

analisis tegangan dan analisis deformasi arah sb Z akibat pemotongan bagian dudukan tengah senjata dengan sudut pemotongan (ψ) mulai dari 0° sampai 9°.

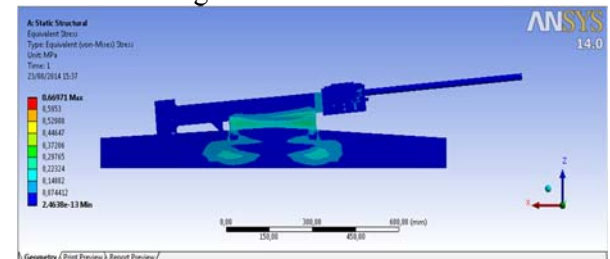
Sudut Pemotongan 0°



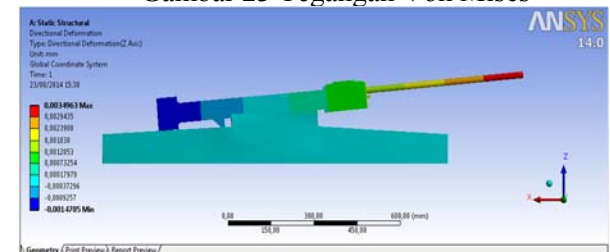
Gambar 21 Tegangan Von Mises



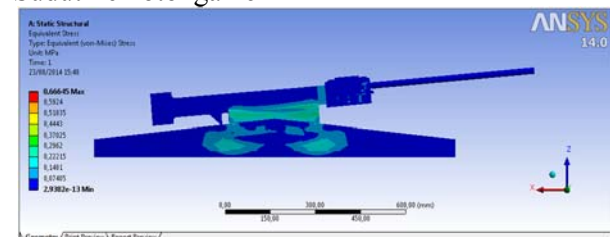
Gambar 22 Deformasi arah sb Z
Sudut Pemotongan 3°



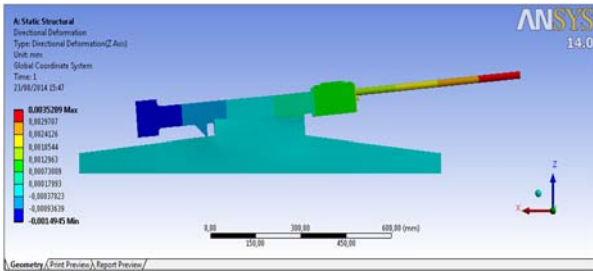
Gambar 23 Tegangan Von Mises



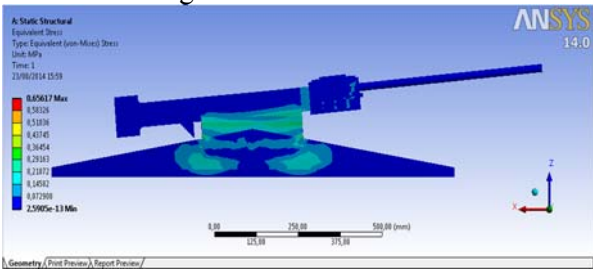
Gambar 24 Deformasi arah sb Z
Sudut Pemotongan 6°



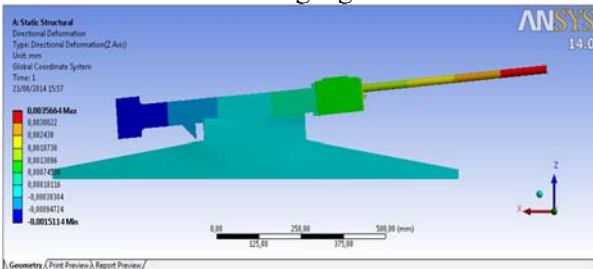
Gambar 25 Tegangan Von Mises



Gambar 26 Deformasi arah Sb Z Sudut Pemotongan 9⁰



Gambar 27 Tegangan Von Mises



Gambar 28 Deformasi arah sb Z

Tabel 11 Hasil reduksi massa terhadap variasi sudut pemotongan

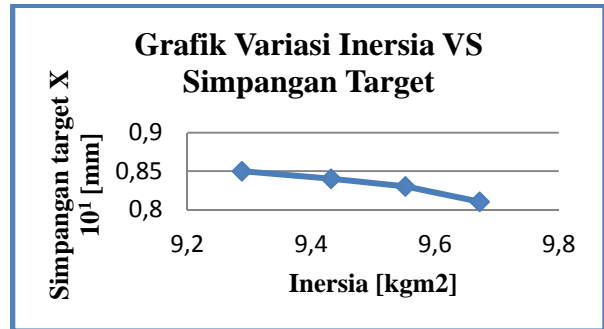
No	(ψ) [°]	Tegangan [MPa]	Reduksi Massa [kg]
1	0	0,67442	0,00
2	3	0,66971	1,00
3	6	0,66645	2,00
4	9	0,65617	3,20

Tabel 12 Penambahan simpangan target terhadap variasi sudut pemotongan

No	(ψ) [°]	Defleksi sb Z [mm]	Simpangan Target [mm]
1	0	0,0034696	1,91
2	3	0,0034963	1,92
3	6	0,0035289	1,94
4	9	0,0035664	1,96

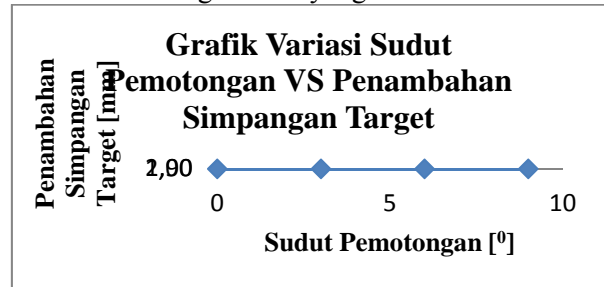
Tabel 13 Variasi simpangan pada jangkauan efektif 300 m akibat variasi inersia

No	(ψ) [°]	Inersia Total [kgm ²]	Simpangan Target [mm]
1	0	9,7	8,1
2	3	9,6	8,3
3	6	9,4	8,4
4	9	9,3	8,5



Gambar 29 Grafik variasi inersia terhadap simpangan target

Berdasarkan hasil yang didapat terlihat efek pemotongan dengan variasi sudut pemotongan yang berbeda-beda tidak terlalu signifikan berpengaruh terhadap penambahan simpangan target. Oleh karena itu sistem dudukan senjata dapat dikatakan tidak sensitif dengan sedikit perubahan geometri strukturnya, sehingga hal ini akan memudahkan dalam proses manufaktur akibat toleransi geometri yang tidak ketat.



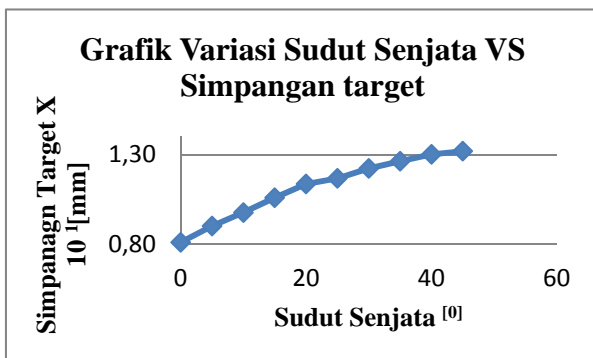
Gambar 30 Grafik variasi sudut pemotongan terhadap penambahan simpangan target

Hasil

Berdasarkan hasil perhitungan untuk frekuensi tembakan 4 fps (*firing per second*) dengan jangkauan efektif 300 m dan variasi sudut 0⁰-45⁰ diperoleh penyimpangan maksimum dari target sebesar 13,2 mm yakni ketika sudut senjata sebesar 45⁰. Berdasarkan hasil yang didapat, dapat disimpulkan bahwa sistem isolasi getaran mampu mereduksi getaran akibat gaya eksitasi senjata dengan simpangan target dibawah 100 mm. Tabel 3.6 dan grafik 3.3 menunjukkan simpangan target terhadap variasi sudut senjata.

Tabel 14 Simpangan Target Terhadap Variasi Sudut Senjata

No	Sudut Senjata ($^{\circ}$)	Simpangan Target [mm]
1	0	8,1
2	5	9,0
3	10	9,8
4	15	10,6
5	20	11,4
6	25	11,7
7	30	12,2
8	35	12,6
9	40	13,0
10	45	13,2



Gambar 31 Simpangan target vs variasi sudut senjata

Berdasarkan hasil yang didapat menunjukkan bahwa simpangan dari target terbesar terjadi ketika sudut senjata sebesar 45° yakni 13,2 mm.

Kesimpulan

Rancangan sistem dudukan senjata beserta sistem isolasi getarannya mampu mereduksi getaran akibat impuls senjata pada frekuensi tembakan 4 fps (*firing per second*) dan jangkauan efektif 300 m untuk semua variasi sudut senjata dari 0° sampai 45° .

Penyimpangan maksimum pada target sebesar 13,2 mm untuk frekuensi tembakan 4 fps (*firing per second*) dan jangkauan efektif 300 m terjadi ketika sudut senjata sebesar 45° .

Saran

Perlunya pengembangan analisis dinamika sistem dengan penambahan derajat kebebasan arah *rolling* agar hasil yang didapat lebih akurat.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Divisi Senjata PT PINDAD atas informasi yang diberikan di dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] Katalog Divisi Senjata PT PINDAD, Senapan Mesin Varian II, SPM2-V2.
- [2] Rao, Singiresu S. Mechanical Vibration Fifth Edition. Prentice Hall : 2004.
- [3] Ogata, Katsuhiko. Modren Control Engineering Third Edition. Prentice Hall : 1997.
- [4] Palm, William J. System Dynamics Second Edition. Mc Graw Hill : 2002.
- [5] Marghitu, Dan B. Mechanisms and Robots Analysis with MATLAB First Edition. Springer – Verlag London : 2009.