

# Analisis tegangan pada kulit nose cone smoke warhead kaliber 70 mm dengan variasi ketebalan kulit akibat beban jatuh bebas vertikal

Joko Suprihanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Penerbangan Universitas Nurtanio Bandung, Jawa Barat, Indonesia.

\*[jokosuprihanto@unnur.ac.id](mailto:jokosuprihanto@unnur.ac.id)

**Abstrak.** *Warhead* merupakan bagian dari suatu roket. Jenis *warhead* ada beberapa macam, diantaranya adalah *smoke warhead*. *Nose cone smoke warhead* adalah suatu *warhead* dimana di dalam *warhead* tersebut berisi tabung yang berisi cairan yang jika bereaksi dengan udara, akan mengakibatkan terjadinya asap. *Smoke warhead* digunakan sebagai penanda posisi hasil tembakan roket. Bagian *smoke warhead*, terdiri atas *nose cone*, *base* dan *ampula*. Dalam penelitian ini, dianalisis kekuatan kulit *nose cone smoke warhead* kaliber 70 mm dengan variasi ketebalan 0,75 mm, 1,0 mm dan 1,25 mm, akibat jatuh bebas dari ketinggian maksimum 2 m dari atas landasan dengan posisi ujung *nose cone vertical*, posisi *nose cone* ke bawah, dan beban total adalah 3,5 kg. Analisis dilakukan dengan perhitungan yang berdasarkan atas persamaan gerak jatuh bebas, perhitungan energi kinetik, energi potensial, hukum kekekalan momentum, hukum kekekalan energi dan hukum kekekalan momentum. Analisis tegangan yang terjadi hanya dilakukan pada bagian *nose cone* yang penampangnya maksimum. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin tebal kulit *nose cone* memberikan ketahanan yang lebih baik. Berdasarkan hasil perhitungan ini diharapkan bermanfaat dalam penentuan ketebalan kulit serta material yang digunakan untuk kulit *nose cone*.

Kata kunci: *nose cone ketebalan tegangan*

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar belakang

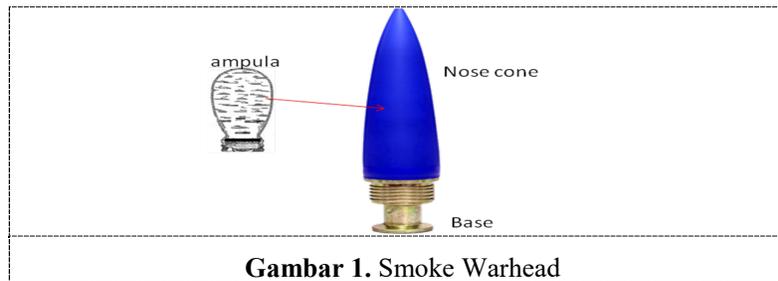
Untuk mengetahui material yang sesuai dari suatu komponen, terlebih dahulu adalah mengetahui tegangan-tegangan yang terjadi pada bagian komponen-komponen yang dimaksudkan. Pada penelitian ini, dikaji tegangan yang terjadi pada kulit nose cone suatu warhead, akibat benturan atau tumbukan yang dikarenakan jatuh bebas .

Hulu ledak pada suatu roket ada beberapa macam, tergantung fungsinya masing-masing. Salah satu jenis hulu ledak adalah *smoke warhead*. Bagian-bagian dari *smoke warhead* ini adalah *nose cone*, tabung (ampula) tempat suatu cairan dan *base*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. *Nose cone* pada *smoke warhead* ini jika pecah akan menimbulkan asap, sebagai akibat dari reaksi kimia yang terjadi antara udara dengan cairan akibat pecahnya tabung tempat cairan (ampula) yang ada di dalam *warhead*. *Smoke warhead* ini digunakan sebagai indikator untuk menunjukkan posisi jatuhnya roket yang ditembakkan tersebut. Selanjutnya, hasil tersebut digunakan sebagai salah satu acuan untuk penembakan yang berikutnya. Hal ini bertujuan agar penembakan roket berikutnya diharapkan bisa mengenai sasaran yang diinginkan.

Untuk menentukan material yang digunakan untuk *nose cone*, salah hal yang terlebih dahulu perlu diketahui adalah dimensi ketebalan kulit *nose cone warhead*, beban yang diterima dan tegangan yang terjadi pada komponen-komponen yang dianalisis.

Dalam penelitian ini, akan dianalisis berapa tegangan yang terjadi pada suatu bagian di kulit *nose cone*, jika jatuh dari ketinggian tertentu. Ketinggian tertentu ini terkait saat handling di tempat penyimpanan ataupun pada pemasangan rocket di wahana peluncur roket yang sudah terpasang di pesawat udara. Adapun *nose cone* yang diteliti dalam penelitian ini merupakan bagian dari suatu hulu ledak (*warhead*) yang terpasang *rocket motor* dengan diameter 70 mm.

Beberapa teori yang terkait dalam permasalahan ini meliputi: gerak benda jatuh bebas, hukum kekekalan energi, hukum kekekalan momentum, dan tumbukan antara dua benda.



**Gambar 1.** Smoke Warhead

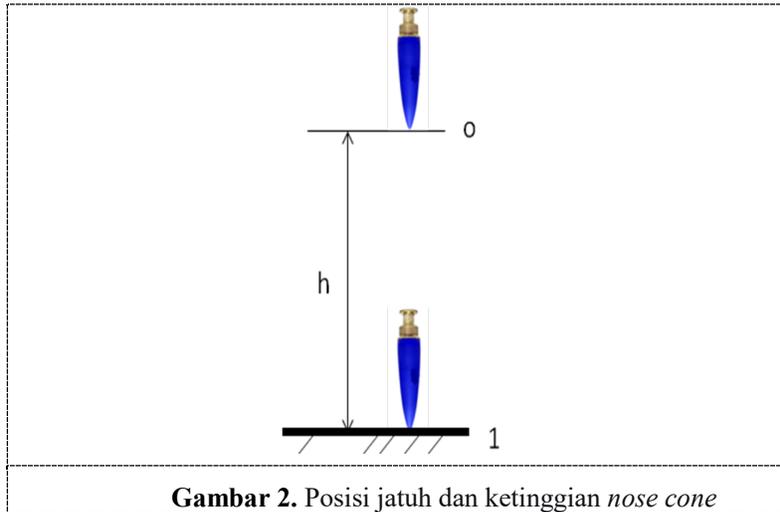
### 1.2. Tujuan penelitian

Sebagaimana telah disebutkan di atas, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar nilai tegangan yang terjadi pada kulit *nose cone warhead*.

### 1.3. Kondisi batas

Dalam penelitian ini dihitung tegangan yang terjadi pada *nose cone* pada saat jatuh bertumbukan dengan permukaan benda keras. Batasan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

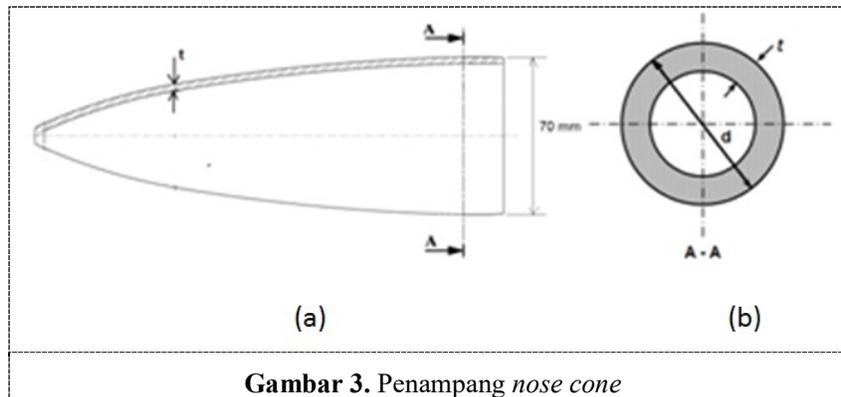
- ketebalan *nose cone* ( $t$ ) divariasikan 0,75 mm, 1,0 mm dan 1,25 mm,
- posisi jatuh *nose cone* adalah tegak lurus terhadap permukaan horizontal, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2,
- ketinggian jatuh maksimum smoke warhead adalah 2 m dari permukaan landasan horisontal
- kondisi jatuh adalah jatuh bebas tanpa ada gaya eksternal, dengan demikian kecepatan awal jatuh adalah nol.
- gaya gesekan dengan udara diabaikan,
- gaya hambat atau *drag* yang terjadi diabaikan,
- massa yang diterapkan pada *nose cone* masing-masing adalah 3.5 kg.
- analisis tegangan hanya dilakukan pada bagian *nose cone* dimana diameternya 70 mm, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.
- Dalam penelitian ini tidak mempertimbangkan material yang digunakan untuk *nose cone* pada *smoke warhead* yang diteliti.



**Gambar 2.** Posisi jatuh dan ketinggian *nose cone*

#### 1.4 Geometri *nose cone smoke warhead*.

Adapun ukuran *nose cone* yang akan dievaluasi tegangannya ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



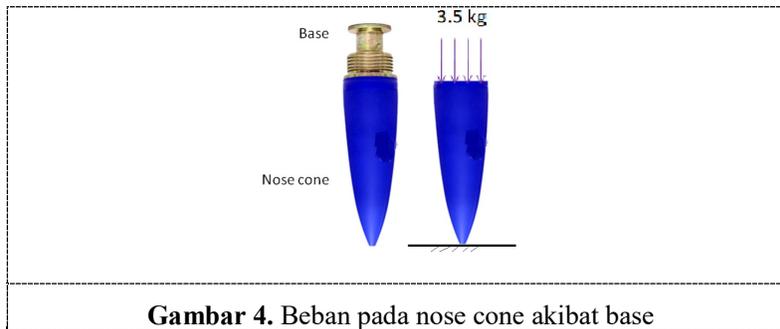
**Gambar 3.** Penampang *nose cone*

Gambar penampang *nose cone* ditunjukkan pada Gambar 3, penampang A-A yang merupakan bagian *nose cone* yang dianalisis dalam penelitian ini. Diameter maksimum luar *nose cone* adalah 70 mm. Adapun ketebalan *nose cone* ditunjukkan dengan  $t$ . Ketebalan  $t$  tersebut divariasikan setebal 0.75 mm, 1,0 mm, 1,5 mm dan 2,0 mm.

#### 1.5 Beban Pada *Nose Cone*

Beban yang bekerja pada *nose cone* dalam penelitian ini tidak melibatkan beban eksternal. Pada penelitian ini, beban yang akan diterapkan pada *nose cone* yaitu beban akibat massa *base warhead* saja, diasumsikan 3,5 kg.

Beban ini terjadi dimana *warhead* belum dipasangkan pada motor roket, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.

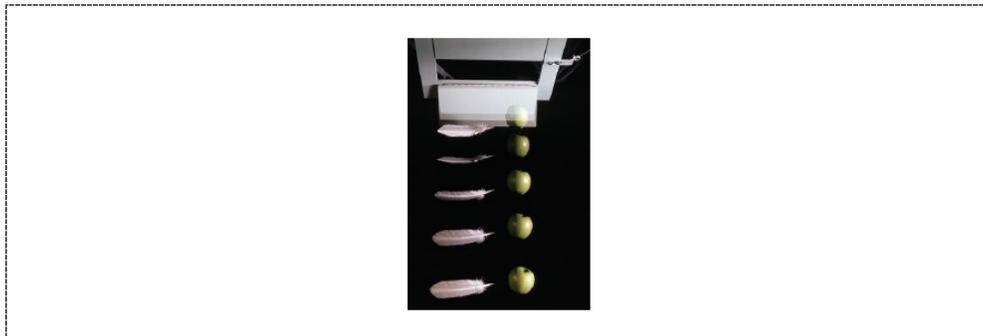


**Gambar 4.** Beban pada nose cone akrobat base

## 2. Tinjauan pustaka

### 2.1 Gerak jatuh bebas

Jika suatu benda jatuh serta tidak ada pengaruh akibat pergerakan udara terhadap benda tersebut selama dalam lintasannya, maka benda tersebut bergerak dengan percepatan konstan yang nilainya tertentu. Percepatan ini disebut percepatan jatuh bebas, dan besarnya dinyatakan dengan  $g$ . Nilai percepatan gravitasi,  $g$ , tergantung pada ketinggian dari permukaan laut. Di ketinggian permukaan laut, nilai  $g$  adalah  $9.8 \text{ m/s}^2$ . Percepatan gravitasi ini tidak bergantung pada karakteristik benda, seperti massa, densitas, atau bentuk. Sebagai contoh mengenai hal tersebut, ditunjukkan pada Gambar 6 berikut, yang menunjukkan bulu dan apel di dalam ruang hampa udara yang jatuh bebas.



**Gambar 5.** Gerak jatuh bebas bulu dan apel di dalam ruang hampa.

Sumber (Halliday & Resnick (2014))

Pada Gambar 6 tersebut terlihat bahwa pergerakan bulu dan apel di dalam ruang hampa udara tersebut adalah sama untuk waktu yang sama.<sup>3</sup>

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam gerak jatuh bebas, ditunjukkan sebagai berikut :

$$v_t = v_o + gt \quad (1)$$

$$d_t = v_o t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

Dengan :

$d$  : jarak, m

$g$  : percepatan gravitasi bumi,  $\text{m/s}^2$

$t$  : waktu, s

$v_o$  : kecepatan awal, m/s

$v_t$  : kecepatan saat t, m/s

Untuk benda dengan kondisi jatuh bebas, maka kecepatan awal benda,  $v_o=0$ .

### 2.2 Energi potensial

Energi potensial merupakan suatu energi yang dimiliki oleh suatu benda dikarenakan posisi ketinggiannya, dalam penelitian ini adalah ketinggian dari permukaan bumi. Besarnya nilai energi potensial dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi dan tempat ketinggian benda. Semakin tinggi dan semakin besar massa benda, maka energi potensialnya semakin besar.

Jika suatu benda berada pada ketinggian  $h_1$  dari permukaan bumi, energi potensial yang dimiliki benda tersebut dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$\Delta E_p = \int_{h_o}^{h_1} F dx \quad (3)$$

Dengan :

$\Delta E_p$  : perbedaan energi potensial, N.m

F : gaya, N

x : ketinggian, m

dengan gaya, F adalah :

$$F = mg \quad (4)$$

Dengan :

F : gaya, N

m : massa benda, kg

g : percepatan gravitasi bumi,  $m/s^2$

Selanjutnya substitusikan persamaan (4) ke persamaan (3) dan diintegrasikan, diperoleh :

$$\Delta E_p = mg \int_{h_1}^{h_o} dx \quad (5)$$

$$\Delta E_p = mgh_o - mgh_1 \quad (6)$$

Dengan :

$\Delta E_p$  : energi potensial, N.m

m : massa benda, kg

$h_o$  : ketinggian pada posisi o, saat benda dijatuhkan, m

$h_1$  : ketinggian pada posisi 1 di lantai (permukaan), m

Jika ketinggian  $h_1=0$ , maka besarnya energi potensial pada ketinggian  $h_o$  adalah

$$E_{po} = mgh_o \quad (7)$$

### 2.3 Energi Kinetik

Energi kinetik berkaitan dengan kecepatan dan massa partikel ataupun benda. Energi kinetik ini dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2 \quad (8)$$

Dengan :

$E_k$  : energi kinetik,  $kg.m^2/s^2$ , N.m

m : massa benda, kg

v : kecepatan benda, m/s

#### 2.4 Hukum kekekalan energi

Suatu sistem terisolasi, dimana sistem tersebut tidak mendapatkan gaya dari luar (tidak ada gaya eksternal), energi total awal dan energi total pada saat berikutnya adalah tetap. Untuk suatu benda bermassa  $m$ , yang jatuh bebas hanya akibat pengaruh gravitasi, misalkan dari ketinggian  $h_o$  ke  $h_1$ , dengan kecepatan  $v_1$  dan  $v_o$ , persamaannya dirumuskan sebagai berikut :

$$E_{ko} + E_{po} = \text{konstan} \quad (9)$$

Dengan demikian persamaan (11) menjadi :

$$E_{ko} + E_{po} = E_{k1} + E_{p1} \quad (10)$$

Dengan :

- $E_{ko}$  : energi kinetik pada posisi o, N.m
- $E_{k1}$  : energi kinetik pada posisi 1, N.m
- $E_{po}$  : energi potensial pada posisi o, N.m
- $E_{p1}$  : energi potensial pada posisi 1, N.m

Berdasarkan persamaan (12), persamaan energi potensial dan energi kinetik pada masing-masing posisi, yaitu posisi o dan 1, maka kecepatan pada saat akan bertumbukan dengan lantai (permukaan) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{1}{2}mv_o^2 + mgh_o = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 \quad (11)$$

Untuk menghitung kecepatan suatu benda yang jatuh bebas, dengan tanpa ada gaya hambat, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 dapat menggunakan persamaan (13). Untuk kondisi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 tersebut, dimana pada ketinggian o (saat benda dijatuhkan) kecepatannya adalah nol maka energi kinetiknya adalah nol, sedangkan pada ketinggian di titik 1 dimana ketinggiannya adalah nol, maka energi potensial di posisi 1 (pada permukaan lantai) adalah nol. Berdasarkan hal tersebut, maka persamaan (13) menjadi :

$$mgh_o = \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (12)$$

Selanjutnya diperoleh kecepatan saat jatuh pada posisi di ketinggian 1 adalah

$$v_1 = \sqrt{2gh_o} \quad (13)$$

#### 2.5 Momentum

Untuk partikel atau benda tunggal, besarnya momentum dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (14)$$

dengan :

- $\vec{p}$  : momentum linier, kg.m/s
- $m$  : massa benda, kg
- $\vec{v}$  : kecepatan benda, m/s

Momentum ini merupakan suatu vector yang arahnya searah dengan arah kecepatan.

#### 2.6 Hukum Newton II

Hukum Newton II dituliskan dalam persamaan berikut :

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (15)$$

dengan :

$\vec{F}$  : gaya, N  
 $m$  : massa, kg  
 $\vec{a}$  : percepatan, m/s<sup>2</sup>

### 2.7 Hubungan Hukum Newton II dan Momentum

Sebagaimana diketahui bahwa percepatan  $a$ , dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$a = dv/dt \quad (16)$$

Pada saat terjadi tumbukan antara nose cone dengan permukaan landasan, misalkan kecepatan sesaat sebelum tumbukan adalah  $v_i$ , dan kecepatan pada sesaat setelah tumbukan adalah  $v_f$ , maka percepatan sesaat yang terjadi pada saat tumbukan dituliskan sebagai berikut :

$$a = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} \quad (17)$$

Dimana  $\Delta t$  adalah waktu sesaat sebelum dan sesudah terjadinya tumbukan antara *nose cone* dengan permukaan landasan. Dengan demikian persamaan (10) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\vec{F} = m \left[ \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t} \right] \quad (18)$$

$$\vec{F} = \frac{m\vec{v}_f - m\vec{v}_i}{\Delta t} \quad (19)$$

Selanjutnya momentum sesaat sebelum tumbukan dan setelah tumbukan secara berurutan adalah  $\vec{p}_i$  dan  $\vec{p}_f$ , maka persamaan (17) menjadi sebagai berikut.

$$\vec{F} = \frac{\vec{p}_f - \vec{p}_i}{\Delta t} \quad (20)$$

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad (21)$$

### 2.8 Tegangan

Dalam penelitian ini, dengan memperhatikan pembebanan yang terjadi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5, gaya yang terjadi pada kulit *nose cone* adalah gaya tekan pada saat terjadi tumbukan dengan landasan. Akibat gaya tekan ini, terjadi tegangan tekan pada kulit *nose cone*.

Tegangan yang terjadi pada bagian nose cone dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (22)$$

Dengan :

$\sigma$  : tegangan tekan, N/mm<sup>2</sup>  
 $F$  : gaya yang bekerja, N  
 $A$  : luas penampang, mm<sup>2</sup>

Nilai  $F$  pada persamaan (22) diperoleh dari persamaan (23). Untuk penampang sebagaimana Gambar 3(b), luas penampang kulit *nose cone* ditunjukkan dengan persamaan berikut :

$$A = \pi \left[ \left( \frac{d}{2} \right)^2 - \left( \frac{d-2t}{2} \right)^2 \right] \quad (23)$$

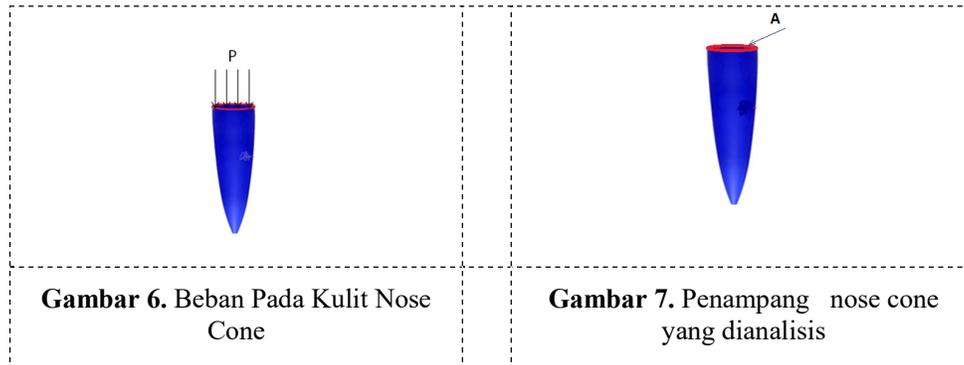
Dengan :

$d$  : diameter luar penampang  
 $t$  : ketebalan kulit

Gaya dan area sebagaimana disebutkan tersebut, ditunjukkan pada Gambar 6.

### 3. Hasil perhitungan

Bagian *nose cone* yang dihitung dalam penelitian ini ditunjukkan pada daerah A sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7 berikut:



Selanjutnya hasil perhitungan tegangan yang terjadi pada bagian kulit *nose cone* yang berdiameter 70 mm, ditunjukkan sebagai berikut.

Untuk massa beban yang diterima *nose cone*, sebesar 3,5 kg, ini merupakan beban *base warhead* saja, dengan asumsi selang waktu yang terjadi saat tumbukan dalam penelitian ini digunakan 0,1 detik. Hasil perhitungan tumbukan yang meliputi ketinggian, momentum, energi kinetik dan energi potensialnya ditunjukkan pada pada Tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1.** Kecepatan, ketinggian, momentum, energi kinetik dan energi potensial setiap saat dari ketinggian jatuh 2 m, dengan beban 3,5 kg

t (s)	$v_t$ (m/s)	h (m)	p (kg.m/s)	$E_k$ (N.m)	$E_p$ (N.m)
0,000	0,00	2,000	0,0	0,00	68,60
0,050	0,49	1,988	1,7	0,42	68,18
0,100	0,98	1,951	3,4	1,68	66,92
0,150	1,47	1,890	5,1	3,78	64,82
0,200	1,96	1,804	6,9	6,72	61,88
0,250	2,45	1,694	8,6	10,50	58,10
0,300	2,94	1,559	10,3	15,13	53,47
0,400	3,92	1,216	13,7	26,89	41,71
0,450	4,41	1,008	15,4	34,03	34,57
0,500	4,90	0,775	17,2	42,02	26,58
0,550	5,39	0,518	18,9	50,84	17,76
0,600	5,88	0,236	20,6	60,51	8,09
0,638	6,25	0,005	21,9	68,41	0,19

Pada Table1 tersebut, ditunjukkan besarnya kecepatan, momentum, energi kinetik dan energi potensial pada setiap saat mulai saat *nose cone* dijatuhkan dari ketinggian 2 meter hingga saat mengenai permukaan landasan. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dapat ditunjukkan bahwa nilai jumlah nilai energi kinetik dan energi potensial pada setiap saat adalah sama, yaitu sebesar 68.60 N.m. Nilai momentum pada saat *nose cone* sampai di permukaan landasan sebesar 21,9 kg.m/s. Selanjutnya, dengan menerapkan waktu tumbukan 0.1 detik, dan menggunakan persamaan (23) dan persamaan (24), diperoleh gaya yang bekerja saat tumbukan dan tegangan yang terjadi pada penampang *nose cone* pada bagian yang penampangnya 70 mm, ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Tegangan pada kulit *nose cone* dengan beban 3,5 kg, pada ketebalan 0,75 mm, 1,0 mm dan 1,25 mm.

Waktu (s)	Jarak dari titik jatuh (m)	Gaya (N)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> ) untuk tebal kulit		
			0,75 mm	1,00 mm	1,25 mm
0,000	0,000	0,0	0,00	0,00	0,00
0,050	0,012	60,0	0,37	0,28	0,22
0,010	0,049	120,1	0,74	0,55	0,44
0,150	0,110	180,1	1,10	0,83	0,67
0,200	0,196	240,1	1,47	1,11	0,89
0,250	0,306	300,1	1,84	1,39	1,11
0,300	0,441	360,2	2,21	1,66	1,33
0,350	0,600	420,2	2,58	1,94	1,56
0,400	0,784	480,2	2,94	2,22	1,78
0,450	0,992	540,2	3,31	2,49	2,00
0,500	1,225	600,3	3,68	2,77	2,22
0,550	1,482	660,3	4,05	3,05	2,45
0,600	1,764	720,3	4,42	3,32	2,67
0,625	1,995	765,9	4,70	3,54	2,84

Berdasarkan Tabel 2, ditunjukkan besarnya gaya yang terjadi pada saat tumbukan adalah sebesar 765 N. Selanjutnya tegangan yang terjadi kulit *nose cone* yang berdiameter 70 mm, untuk ketebalan kulit 0,75 mm, 1,0 mm dan 1,25 mm secara berturutan masing-masing adalah sebesar 4,70 N/mm<sup>2</sup>, 3,54 N/mm<sup>2</sup> dan 2,84 N/mm<sup>2</sup>.

#### 4. Analisa

Berdasarkan hasil yang sebagaimana disebutkan tersebut, diketahui besarnya tegangan yang terjadi jika *nose cone* jatuh dari ketinggian tertentu, yang dalam penelitian ini ketinggian maksimum jatuh hanya dibatasi pada ketinggian 2 m. Makin tebal kulit *nose cone*, menunjukkan makin tinggi ketahanannya akibat jatuh bebas, sebagaimana ditunjukkan pada hasil perhitungan bahwa untuk ketebalan 0,75 mm tegangan yang terjadi 4,70 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan untuk ketebalan 1,00 mm dan 1,25 mm secara berurutan adalah 3,54 N/mm<sup>2</sup> dan 2,84 N/mm<sup>2</sup>. Di sini ditunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada kulit *nose cone* yang tebalnya 1,26 mm bernilai paling kecil, yaitu sebesar 2,84 N/mm<sup>2</sup>.

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dapat disimpulkan bahwa :

Semakin tebal kulit *nose cone*, akan memberikan ketahanan yang baik terhadap *nose cone*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan *nose cone* yang tebal yang lebih tipis.

## 6. Referensi

- [1] E. Tempelman & M.M.S. Dwaikat & C. Spítás, 2012 *Experimental and Analytical Study of Free-Fall Drop Impact Testing of Portable Products* Springerlink.com DOI 10.1007/s11340-011-9584-y
- [2] Haidar F. AL-Qrimli, Karam S. Khalid and Fadhil A. Mahdi *The Effect of Cone Angle on Composite Tubes Subjected to Axial Loading* British Journal of Applied Science & Technology DOI: 10.9734/BJAST/2015/15385
- [3] Halliday & Resnick, 2014 *Fundamentals of Physics* John Wiley & Sons, Inc
- [4] Timoshenko, S, 1965 *Strength of Materials Part I Elementary and Problems* **Third edition** USA : D. Van Nostrand Company, Inc.