

# HASIL VALIDASI PERHITUNGAN TABUNG RX 320 DENGAN BEBERAPA SOFTWARE STRUKTUR DAN SECARA TEORITIS

## RESULTS VALIDATION CALCULATION OF TUBES RX 320 WITH SEVERAL SOFTWARE STRUCTURES AND THEORETICALLY

Ediwan, Mahfud Ibadi  
Pusat Teknologi Roket Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional  
ediwan@LAPAN.go.id

### Abstrak

Pada perancangan suatu struktur mutlak diperlukan analisis kekuatan struktur untuk menjamin bahwa struktur tersebut dapat digunakan sesuai kebutuhan perancangan. Kekuatan struktur sendiri ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya sifat material dan geometri struktur, serta beban yang akan diterima. Karakteristik struktur ringan dengan kekuatan tinggi sangat diperlukan untuk rancang bangun struktur tabung motor roket, dan wahana terbang lainnya. Hal ini menjadi salah satu alasan mengapa pemilihan material dan analisisnya perlu adanya validasi, untuk meyakinkan hasil perhitungan yang sudah dilakukan benar adanya. Salah satu geometri yang sering digunakan dalam perhitungan struktur tabung adalah bahan yang digunakan serta diameter dan tebalnya. Tulisan ini akan membahas perancangan tabung yang akan digunakan pada roket RX 320 LAPAN tahun 2017, selain perhitungan teoritis menggunakan beban tekanan dan temperatur, dilakukan juga dengan menggunakan dua buah perangkat lunak struktur, yang menggunakan metode elemen hingga.

Kata kunci: tekanan, panas dan tabung.

### Abstract

*In the design of a structure, structural strength analysis is required to ensure that the structure can be used according to the design requirements. Strength of the structure is determined by several factors, including the properties of materials and structural geometry, as well as loads to be received. Characteristics of lightweight structures with high strength is needed to design the structure of a rocket motor tube and other flying vehicle. This is one of the reasons why material selection and the analysis needs validation, to make sure the results of the calculations that have been done true. One geometry that is often used in the calculation of the structure of the tube is the material used, diameter and thickness. This paper will discuss the design of tubes to be used on the RX 320 LAPAN rocket in 2017, in addition to the theoretical calculations using pressure and temperatur loads, is also carried out using two software structures, which use finite element method*

*Keywords: pressure, thermal and tube.*

## 1. PENDAHULUAN

Sesuai dengan kebutuhan nasional akan roket balistik dengan jangkauan sampai dengan 3 digit atau di atas 100 km, LAPAN telah mempunyai sasaran untuk dapat mengembangkan suatu motor roket yang berdiameter 320 mm. Dalam proses perancangan motor roket ini, beberapa upaya perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih meyakinkan. Maka akan dilakukan dengan berbagai perangkat lunak struktur sehingga lebih meyakinkan hasil yang akan didapat nantinya apalagi dilakukan juga secara teoritis, dengan menggunakan bahan yang telah tersedia.

Kendala yang sering ditemui dalam pengembangan tabung motor roket adalah keterbatasan material untuk tabung yang sesuai dengan kriteria optimasi perancangan. Apalagi material tabung ini kebanyakan merupakan barang impor dari luar, yang kadang-kadang ukuran geometrinya yang ada di pasaran tidak bisa persis sama dengan hasil perancangan.

Tabung motor roket merupakan komponen motor roket yang penting, karena akan diisi dengan bahan bakar padat roket yang menghasilkan gaya dorong pada motor roket. Tabung ini harus mampu menahan beban tekanan (*internal pressure*) yang cukup besar, serta temperatur dari hasil pembakaran bahan bakar roket. Beban temperatur dari gas pembakaran di dalam tabung roket, meskipun tinggi tetapi

dapat dikurangi atau dieliminir dengan memberikan pelapisan yang cukup baik dengan material inhibitor atau liner sebagai lapisan isolasi.

Untuk mengetahui kekuatan struktur tabung ini maka perlu dilakukan analisis tegangan pada struktur dinding tabung tersebut, terutama untuk kondisi motor roket pada uji statik, karena tabung akan menerima beban tambahan dari terjadinya gaya dan momen dari cap roket dan *nozzle*.

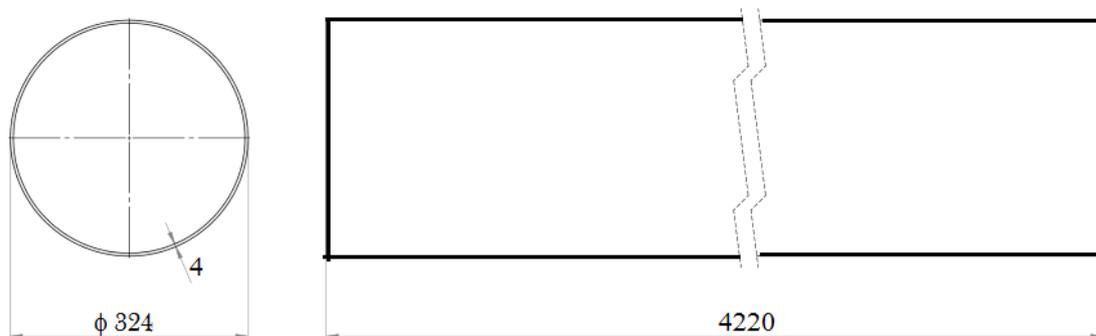
Analisis tegangan akan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Cosmos* pada *Solidwork* dan *Structure Analisis Program* yang berbasis Metode Elemen Hingga (FEM). Pemodelan FEM untuk analisis tegangan pada kondisi motor roket yang menjalani uji statik dan untuk motor roket yang akan menjalani uji terbang akan sedikit berbeda, karena pada waktu uji statik ujung tabung motor roket akan ditahan oleh sebuah *load cell* dan roda-roda *roll* penahan dinding tabung dari *Testbet*. Sedangkan struktur tabung motor roket yang menjalani uji terbang tidak ada penahan pada ujungnya dan pada dinding tabung. Struktur tabung akan dominan menerima beban tekanan dari gas pembakaran dan gaya tahanan aerodinamik yang terjadi sehingga beban bertambah lagi akibat *bending* dan puntir. Oleh karena itu, analisis tegangan pada struktur tabung yang akan menjalani uji statik ini hanya dilakukan dengan beban tekanan dan temperatur saja.

## 2. TEGANGAN PADA STRUKTUR TABUNG MOTOR ROKET RX-320

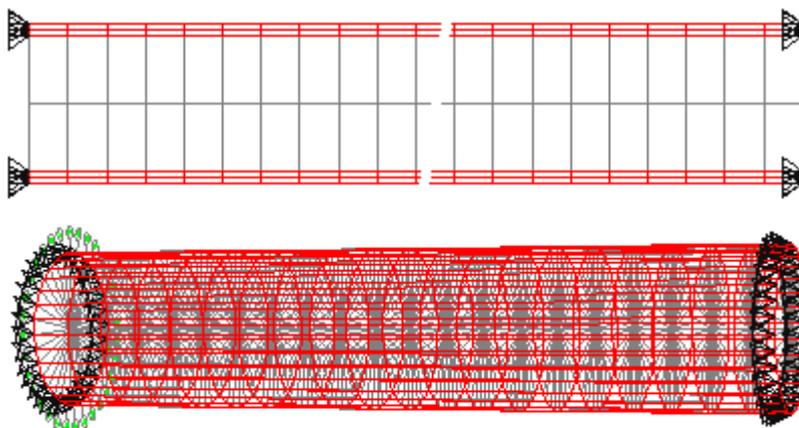
### 2.1. Landasan Teori

Tabung motor roket-320 yang baru mempunyai diameter luar 324 mm dengan tebal  $t = 4$  mm, menggunakan material *Stainless Steel*. Geometri dari tabung motor roket RX-320 ini seperti yang terlihat dalam Gambar 1. Untuk mengetahui kekuatan dari struktur tabung baru ini, selain tekanan dan temperatur dari gas pembakaran, semua beban yang mungkin terjadi pada tabung perlu diperhitungkan, seperti gaya geser dan momen yang terjadi akibat tekanan pada dinding tabung.

Perhitungan tegangan statik yang terjadi pada tabung motor roket RX-320 ini dapat dilakukan dengan membuat pemodelan FEM tabung motor roket.



Gambar 1. Dimensi struktur tabung motor roket RX-320



Gambar 2. Hasil pemodelan FEM untuk struktur tabung motor roket RX-320 yang di tumpu pada kedua ujungnya

## 2.2. Pemodelan *Finite Elemen Methods*

Kemudian model FEM tabung motor roket tersebut di tumpu dengan jepitan pada arah translasi dan rotasi Tx, Ty, Tz, Rx, Ry, dan Rz pada daerah sambungan Cap dan *Nozzle*, karena di sini dianggap tabung hanya bisa bergerak maju mundur saja. Gambar 2 menunjukkan hasil pemodelan FEM untuk Tabung Motor Roket RX-320 [1].

Analisis tegangan yang terjadi pada elemen segi empat pada dinding tabung. Pada elemen *shell* segi empat dari dinding tabung yang isotropis.

Untuk hal tersebut di atas diperlukan perhitungan yang dapat mengetahui besar dan lokasi tegangan maksimum tersebut terjadi, sehingga bagian itu perlu diantisipasi dengan berbagai cara, misalnya dipertebal dapat juga di tambah ring pada bagian luar atau diperlukan perlindungan tersendiri.

Pada tulisan ini akan dilakukan perhitungan struktur secara teoritis yang tidak memperhitungkan adanya konsentrasi tegangan, yang kedua dilakukan menggunakan formula dari buku L.H Abraham yang memperhitungkan adanya konsentrasi tegangan dan yang ketiga dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga (FEM) untuk struktur tabung motor roket RX 320 bahan 17-7-PH, tebal 4.5 mm dengan bantuan komputer pada tekanan 80 kg/cm<sup>2</sup>.

## 3. METODOLOGI

Rumus dasar di bawah ini sering digunakan untuk menghitung tabung atau bejana bertekanan, di mana rumus ini sering digunakan orang dalam perhitungan tabung, pipa atau bejana bertekanan lainnya. Rumus tersebut tidak sesuai untuk digunakan pada perhitungan struktur, karena struktur terdiri dari komponen yang lain di mana masing-masing saling berhubungan atau mempengaruhi terhadap yang lain seperti adanya sambungan di cap dan di nosel, sedangkan rumus dasar (1) menganggap tabung dalam keadaan bebas [2].

$$\sigma = \frac{P.R}{t} \quad (1)$$

di mana : P = Tekanan; R = Jari-jari tabung; t = Tebal tabung

Perhitungan secara teoritis dari buku L.H Abraham "*Structural Design of Missiles And Spacecraft*" atau Roark and Young, *formulas for stress and strain* memperhitungkan adanya momen di mana bagian bebas yang menerima momen, akan melentur, karena kenyataannya bagian tersebut tidak bebas, maka akan terjadi momen induksi  $M_{\theta a}$  yang cenderung menahan momen meridiannya yaitu: [3,16]

$$M_{\theta a} = v M_{xa} \quad (2)$$

Persamaan gaya normal

$$N_{\theta_1} = -2v_0 \lambda^d \cos \lambda d \quad (3)$$

di mana :

d = Jarak ke daerah konsentrasi tegangan

$$N_{\theta_2} = 2M_0 \lambda^2 R e^{-\lambda d} (\cos \lambda d + \sin \lambda d) \quad (4)$$

$$N_{\theta a} = N_{\theta_1} + N_{\theta_2} \quad (5)$$

Lenturan juga menimbulkan tegangan lingkaran (*hoop stress*) sehingga besar tegangan diskontinuitas yang harus ditambahkan pada tegangan membran.

$$\sigma_{\theta a} = \frac{N_{\theta a}}{t} \pm \frac{6M_{\theta a}}{t^2} \quad (6)$$

di mana :

$$N_{xa} = \frac{PR}{2} \quad (7)$$

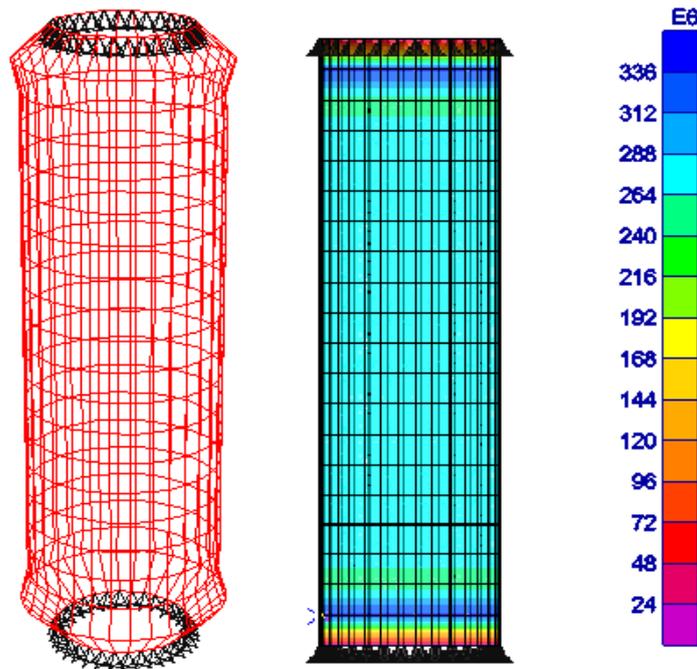
$$N_{\theta a} = N_{\theta a_1} + N_{\theta a_2} + PR$$

Metode ketiga dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga (FEM).

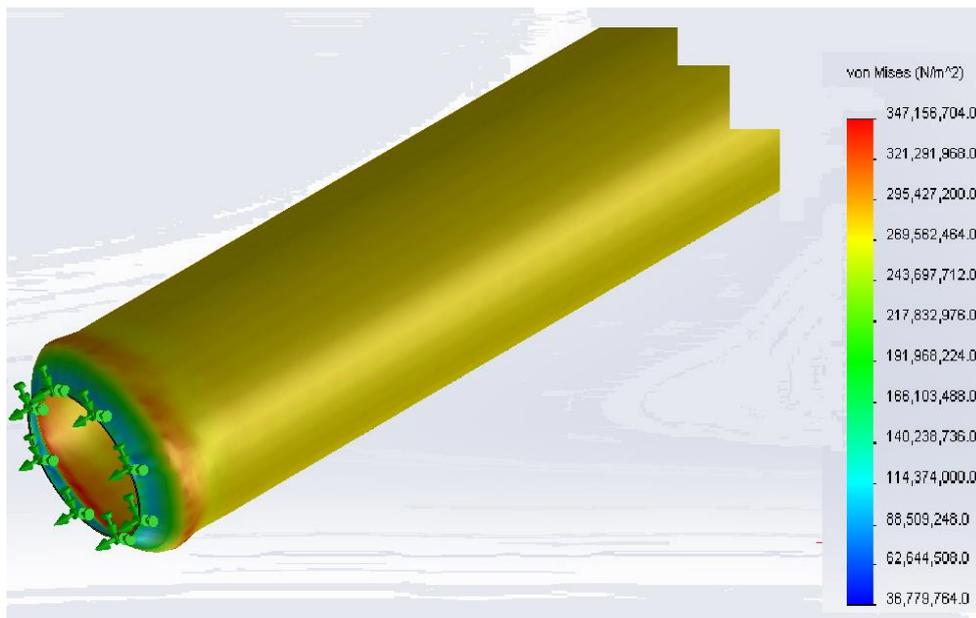
#### 4. ANALISIS TEGANGAN PADA STRUKTUR TABUNG MOTOR ROKET

Dalam perhitungan kekuatan struktur tabung motor roket di sini, beban yang bekerja pada elemen-elemen dinding tabung akan didominasi oleh beban dari tekanan (*internal pressure*) yang berasal dari gas pembakaran, yang besarnya diperkirakan sekitar 80 kg/cm<sup>2</sup>.

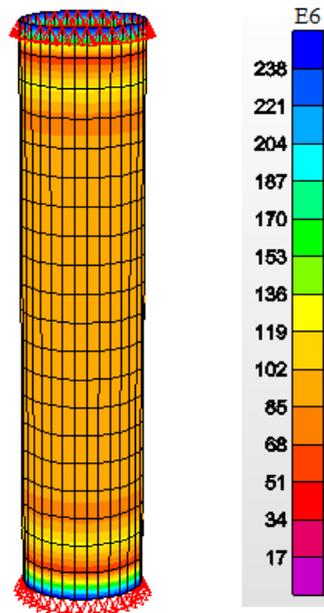
Dengan menggunakan perangkat lunak komputer untuk analisis tegangan yang berbasis pada Metode Elemen Hingga (FEM) diperoleh distribusi besarnya tegangan statik, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3 dan 4 akibat pengaruh tekanan dan Gambar 5 dan 6 untuk pengaruh temperatur. Harga tegangan statik maksimum dengan software SAP adalah 336 + 238=574 MPa sedangkan dengan menggunakan software *Cosmos* pada *Solidwork* adalah 347 + 225 =572 MPa.



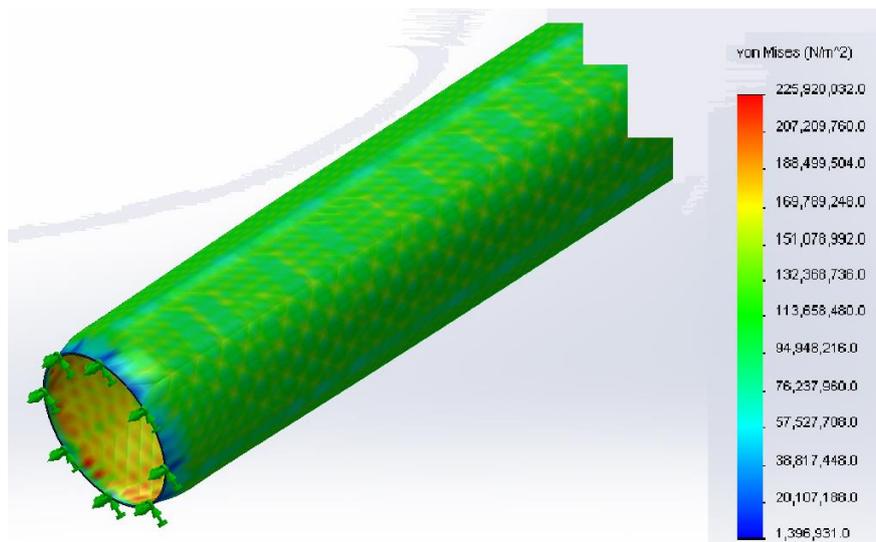
Gambar 3. Distribusi tegangan akibat tekanan-dalam (*internal pressure*) software SAP dengan tegangan maksimum 336x10<sup>6</sup> N/m<sup>2</sup>= 336 MPa



Gambar 4. Distribusi tegangan akibat tekanan dalam software *cosmos* tegangan maksimum 347x10<sup>6</sup> N/m<sup>2</sup>= 347 MPa



Gambar 5. Distribusi tegangan akibat temperatur dalam software SAP tegangan maksimum  $238 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>



Gambar 6. Distribusi tegangan akibat temperatur dalam software maksimum  $225 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>

## 5. PEMBAHASAN HASIL ANALISIS

Dari data spesifikasi material bahan *Stainless Steel* didapatkan harga kekuatan bahan baja yang digunakan =  $656.000.000$  N/m<sup>2</sup> atau 656 MPa. Di sini diperoleh harga faktor keamanan pada dinding tabung roket akibat pengaruh tekanan dan temperatur adalah : [4,5]

- Menggunakan Software SAP

$$S.F = \frac{\sigma_u}{\sigma_{vM}} = \frac{656}{574} = 1.145 \quad (8)$$

- Menggunakan Software *Cosmos* Pada *Solidwork*

$$S.F = \frac{\sigma_u}{\sigma_{vM}} = \frac{656}{572} = 1.147 \quad (9)$$

- Menggunakan cara teoritis Dari buku Roark and. Young [3,6,7,16]



Gambar 7. Hasil perhitungan secara teoritis

Hasil teoritis seperti Gambar 7 di atas terlihat bahwa tegangan maksimum sebesar 3571 kg/cm<sup>2</sup> untuk pengaruh tekanan dan 2405 kg/cm<sup>2</sup> untuk pengaruh temperatur, sehingga,

$$S.F = \frac{\sigma_u}{\sigma_{vM}} = \frac{6560}{3571 + 2405} = 1.1$$

Jadi, material tabung *Stainless Steel* yang digunakan untuk tabung motor roket RX 320 masih cukup aman terhadap beban tekanan dari gas pembakaran propelan yang terjadi pada  $p = 80 \text{ kg/cm}^2$ . [8,9]

Dari deformasi yang mungkin terjadi seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3 dan 4, menunjukkan bahwa harga deformasi yang paling besar akan terjadi pada daerah di dekat ujung-ujung struktur tabung yang berjarak 2 cm dari pinggir untuk beban tekanan, sedangkan untuk beban temperatur berada tepat pada pinggir sambungan. Apabila lapisan isolasi dari inhibitor/liner kurang baik, maka adanya kenaikan tegangan statik akibat beban thermal dapat berakibat fatal pada daerah di dekat ujung-ujung tabung tersebut. Pada umumnya hal ini dapat mengakibatkan dinding tabung robek atau pecah pada daerah tersebut. Problematik semacam ini sering kali ditemui pada waktu melakukan uji statik tabung motor roket [10,11,12,13,14,15].

Untuk mengetahui akurasi hasil analisis tegangan statik ini perlu dilakukan validasi dengan hasil teoritis atau laboratorium kekuatan bahan tabung bahkan diperlukan juga uji pecah untuk mengetahui kekuatan maksimum tabung tersebut akibat tekanan. Hasil teoritis dan menggunakan software komputer hampir sama atau perbedaannya hanya kecil.

## 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari perhitungan kekuatan tabung motor roket RX-320 dengan bahan *Stainless Steel* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Dari hasil analisis tegangan statik pada tabung motor roket yang akan digunakan, menunjukkan bahwa harga faktor keamanan dari bahan tabung *Stainless Steel* menggunakan software SAP adalah 1.145 dan SF=1.147 untuk software *Cosmos* pada *Solidwork*. Secara teoritis adalah S.F = 1,1 untuk beban tekanan dari gas pembakaran propelan sebesar  $p = 80 \text{ kg/cm}^2$ . Material tabung cukup aman terhadap beban tekanan (*internal pressure*) dari gas pembakaran yang terjadi.
- Deformasi maksimum yang terjadi terdapat di daerah dekat ujung-ujung struktur tabung untuk tekanan sekitar 2 cm dekat ujung sedang temperatur terletak dekat ke sambungan. Oleh karena itu, kemungkinan terjadinya tabung robek atau pecah pada waktu diuji statik sering kali ditemui pada daerah di dekat ujung-ujung tabung tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada rekan peneliti, perencana dan teknisi litkayasa struktur Pustekroket LAPAN atas kerja samanya yang baik dalam proses perancangan tabung RX320

## PERNYATAAN PENULIS

Menyatakan bahwa tulisan ilmiah yang akan dipublikasikan ini adalah hasil karya sendiri dan bukan merupakan duplikat sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain, kecuali yang telah disebut sumbernya. Pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan secara sadar serta tanggung jawab penulis

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cook,R.D., Malkus,D.S., and Plesha,M.I., “*Concepts and Application of Finite Element Analysis*”, 3<sup>rd</sup> Edition, John Wiley & Sons Inc., New York – USA, 1984.
- [2] Huebner, Kenneth,H., “*The Finite Element Method for Engineers*”, John Wiley & Sons Inc., New York, 1974.
- [3] Roark and. Young, *Formula for Stress and Strain*, McGraw-Hill, New York 2002
- [4] ASME B31.3 *Process Piping*. American Society of Mechanical Engineers, New York 2012
- [5] ASME B31.1 *Power Piping*. New York : American Society of Mechanical Engineers, New York 2012
- [6] Samuel L Hoya, *ASME Hand Book Materials Properties*, Mc Graw-Hill, New York 1984
- [7] Roberts W.L, *Hot Rolling of Steel*, Marcel Dekker Inc, New York 1983
- [8] Chadwick, R, *Developments in Design and Application of Extrusion Presses for Metal Processing*, Int. Met. Rev, vol 25.no.3, pp. 94-136, 1980
- [9] E.R Parker, *Material Missiles and Spacecraft*, University Barkley California 1967
- [10] Ediwan, *Bursting Test Tabung Berdiameter 12 Inchi t=12 mm dan 8 mm*, Prosiding Seminar Nasional Iptek Dirgantara 2005
- [11] Ediwan, *Penelitian Penggunaan Bahan Baja Untuk Struktur Motor Roket, Jurnal IPTEK Material (JIMAT) Diterbitkan oleh LAPAN, 2005*
- [12] Ediwan, *Proses Pembuatan dan Pengujian Tabung Dia 8” Tebal 7 mm Bahan Api-5L-X42, Jurnal Ilmu dan Rekayasa Teknologi Industri (JIRTI) Vol.12, Diterbitkan Oleh FTI Universitas Empu Tantular , 2005*
- [13] Ediwan, *Pengujian Kekuatan Bahan Tabung Motor Roket Pada Berbagai Temperatur*, Prosiding Seminar Nasional Iptek Dirgantara IX, Vol. 2, Diterbitkan LAPAN 2005
- [14] Ediwan, *Analisis hasil Pengelasan tabung berdiameter 300 mm tebal 8 mm*, Prosiding Siptekgan XVI, Diterbitkan Oleh LAPAN, 2012
- [15] Ediwan, *Analysis of Various Mesh Effect To The Stress and Displ in Rocket Motor Tube RX 420 Due To Chamber Pressure*. International Seminar of Aerospace science and Technology (ISAST), ISBN 978-979-1458-74-0. The published by LAPAN2013
- [16] L.H Abraham, *Structural Design of Missiles And Spacecraft*, Mc Graw Hill Book Co,

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS 1

### DATA UMUM

Nama Lengkap : Ediwan  
Tempat & Tgl. Lahir : Muaradua, 6 Mei 1960  
Jenis Kelamin : Pria  
Instansi Pekerjaan : LAPAN  
NIP. / NIM. : 19600506199001101



### DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMA 31 Jakarta Tahun: 1979  
STRATA 1 (S.1) : Teknik Mesin Tahun: 1988  
STRATA 2 (S.2) : Materials Science Tahun: 1996

### ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jln.Raya LAPAN no.2 Mekarsari Rumpin Bogor  
Telp. : 0219204790  
Email : ediwan@LAPAN.go.id

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS 2

### DATA UMUM

Nama Lengkap : Mahfud Ibadi  
Tempat & Tgl. Lahir : Banyumas, 14 Februari 1987  
Jenis Kelamin : Pria  
Instansi Pekerjaan : LAPAN  
NIP. / NIM. : 19870214 201402 1 001

### DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMKN 1 Adiwerna Tahun: 2002  
STRATA 1 (S.1) : Teknik Mesin UNNES Tahun: 2005

### ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jln.Raya LAPAN no.2 Mekarsari,Rumpin, Bogor  
Email : Mahfud.ibadi@LAPAN.go.id