

## OPTIMASI DESAIN SAMBUNGAN ULIR PADA TABUNG MOTOR ROKET RX1220 DAN KORELASINYA TERHADAP HASIL UJI HIDROSTATIK

### OPTIMIZATION OF THREADED JOINT DESIGN ON MOTOR ROCKET TUBE OF RX1220 ROCKET AND ITS CORRELATION TO HYDROSTATIC TEST RESULT

Setiadi<sup>1</sup>, Arief Budi Sanjaya<sup>2</sup>, Ahmad Jamaludin Fitroh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pusat Teknologi Roket – LAPAN dan Pengajar pada  
Fakultas Teknik Institut Teknologi Budi Utomo

<sup>2,3</sup> Pusat Teknologi Roket - LAPAN

[seti1159@gmail.com](mailto:seti1159@gmail.com)

#### Abstrak

Struktur sambungan motor roket Raket RX1220 antara tabung motor roket dengan *cap* dan nosel menggunakan sambungan ulir. Pada desain awal, sambungan ulir yang digunakan adalah jenis ulir *sharp V*. Berdasarkan perhitungan analitik, desain ulir *sharp V* dinilai aman dengan nilai faktor keamanan sebesar 2.24. Meskipun demikian, hasil uji hidrostatis pada tabung motor roket RX1220 menunjukkan adanya kebocoran di sambungan ulir tabung pada tekanan uji sebesar 90 bar. Selanjutnya pada tekanan uji sebesar 127 bar, sambungan mengalami kegagalan atau rusak. Jenis sambungan ulir kemudian diubah menjadi ulir metrik trapezoidal untuk mengatasi masalah kebocoran pada tekanan uji tersebut. Melalui perhitungan analitik ulang, didapatkan faktor keamanan yang lebih besar yaitu 2.98. Hasil uji hidrostatis ulang juga menunjukkan bahwa kebocoran terjadi pada tekanan uji yang lebih besar yaitu 140 bar, selanjutnya pengujian diakhiri pada tekanan 160 bar, dimana sambungan masih utuh. Hal ini menunjukkan bahwa sambungan ulir metrik trapezoidal telah memenuhi persyaratan desain sehingga sambungan ulir dinilai dapat digunakan pada roket RX1220.

Kata kunci: Sambungan ulir, *sharp-V*, metrik trapezoidal, faktor keamanan, uji hidrostatis

#### Abstract

*RX1220 rocket employs threaded joint in joining motor rocket tube with cap and nozzle. Sharp-V thread type had been chosen as threaded joint on preceding joint design. Based on analytical calculation, sharp-V thread design is proved to be safe with safety factor of 2.24. Nonetheless, hydrostatic test result indicates leaking masalah in the threaded joint at pressure test of 90 bar. Eventually, the threaded joint failed at pressure test of 127 bar. To resolve the leaking masalah at the specific pressure test, threaded joint type is changed to metric trapezoidal thread. By analytical recalculation, higher safety factor of 2.98 had been obtained. Hydrostatic re-test also concluded that leaking had occurred at higher pressure test of 140 bar. Hydrostatic re-test ceased at peak pressure test of 160 bar and the threaded joint had been discovered undamaged. This indicates that the metric trapezoidal thread had been complied with design requirement. Thus, the threaded design joint certainly is considered to be used in RX1220 rocket.*

*Keywords: Threaded joint, sharp-V, metric trapezoidal, safety factor, hydrostatic test*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Raket RX-1220 dan Sambungan pada Tabung Motor Roketnya

Pada tahun 2010, LAPAN mempunyai jenis roket RX1210 yang mempunyai panjang keseluruhan sekitar satu meter. Raket ini dapat dikatakan memiliki performa terbang yang stabil dengan jangkauan sekitar belasan kilometer bergantung pada sudut elevasi peluncuran. Raket jenis RX1210 ini kemudian direncanakan untuk ditingkatkan jangkauannya menjadi 20 km atau lebih. Referensinya adalah roket

dari Cekoslovakia / Rusia dan roket Grad. Pengembangan roket RX1210 kemudian dilanjutkan sehingga menjadi roket RX1220, dengan panjang motor sekitar 2meter tanpa mengubah komponen lainnya. Antara tahun 2012 hingga tahun 2017, roket ini sering mengalami ketidakstabilan ketika uji terbang. Roket RX1220 akhirnya dapat terbang dengan stabil pada uji terbang tahun 2018 setelah roket ini mengalami perubahan bentuk sirip dan sistem lipatnya.

Struktur sambungan motor roket RX1220 pada tabung motor roketnya (*tube*) ini menggunakan sambungan ulir. Sambungan ulir dalam hal ini adalah sambungan yang menggunakan konstruksi ulir untuk menyatukan dua komponen struktur motor roket, yaitu tabung motor roket dengan *cap* (*tube-cap*) dan tabung motor roket dengan nosel (*tube-nosel*). Sambungan ini merupakan jenis sambungan semipermanen yang dapat dibongkar pasang. Sambungan ini memiliki ulir di bagian luar dan ulir di bagian dalam sehingga sambungan dapat disatukan dan dilepas tanpa merusak. Sambungan ini mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan jenis sambungan lain, yaitu kehandalan yang tinggi dalam operasi, lebih murah dan efisien.

## 1.2. Latar Belakang dan Tujuan Perubahan Desain

Pada desain awal, sambungan ulir yang digunakan adalah jenis ulir *sharp-V*. Dari perhitungan secara analitik, desain sambungan ini dinilai aman terhadap beban yang terjadi. Meskipun demikian, pada uji hidrostatik yang dilakukan pada bulan November 2017 terdapat kebocoran sambungan ulir ini pada tekanan 90 bar. Pada saat pengujian dilanjutkan hingga tekanan 127 bar, sambungan ulir pada *cap* mengalami kegagalan dimana ulirnya mengalami kerusakan. Kegagalan sambungan ulir tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Dari hasil uji yang kurang memuaskan tersebut, desain sambungan ulir *sharp-V* kemudian diganti dengan jenis ulir metrik trapezoidal. Hal ini dikarenakan jenis sambungan ini diprediksi dapat mengatasi kebocoran sambungan pada tekanan yang lebih tinggi. Desain sambungan yang baru ini perlu dianalisis terhadap beban yang bekerja dengan metode analitik dan divalidasi melalui uji hidrostatik.



Gambar 1. Sambungan ulir yang rusak pada tekanan uji 127 bar [1]

## 2. METODOLOGI

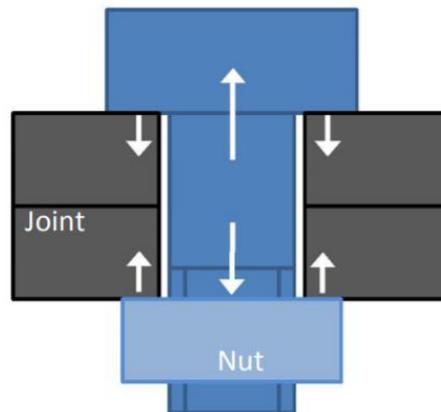
### 2.1. Metode Optimasi

Seperti diuraikan di bagian latar belakang, bahwa jenis sambungan *sharp-V* yang digunakan dalam desain awal cukup kuat, namun hasil uji hidrostatik pada tekanan 90 bar mengalami kebocoran. Dalam rancangan desain, beban tekanan direncanakan sebesar 120 bar, sehingga desain sambungan perlu dimodifikasi agar sambungan dapat menahan tekanan yang lebih tinggi. Sambungan ulir metrik trapezoidal dipilih karena bidang kontak antara ulir *tube-cap* pada sambungan ulir metrik trapezoidal lebih besar daripada sambungan *sharp-V*, sehingga sambungan ulir diprediksi dapat menahan tegangan yang lebih besar juga. Namun hal itu harus melalui perhitungan analitik seperti sebelumnya, dan

divalidasi melalui uji hidrostatis kembali. Dalam uraian bab selanjutnya didapatkan faktor keamanan yang lebih besar dan hasil uji hidrostatis ulang juga menunjukkan bahwa kebocoran terjadi pada tekanan uji yang lebih besar.

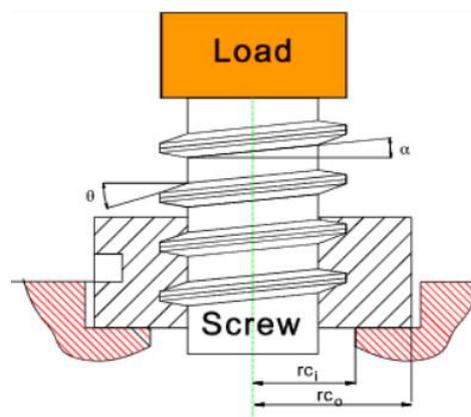
## 2.2. Dasar Teori Desain Sambungan Ulir Daya

Dalam perancangan peralatan mesin, ulir sekrup (*screw thread*) banyak dimanfaatkan sebagai mekanisme penyambungan dan penggerak linear. Dalam pemanfaatannya sebagai mekanisme penyambungan, ulir sekrup sering disebut dengan ulir pengikat (*threaded fastener*). Ulir pengikat merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menyambungkan konstruksi di dalam komponen mekanik [2]. Skema mekanisme penyambungan menggunakan ulir pengikat dapat dilihat pada Gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat bahwa terdapat dua anggota sambungan (*joint member*) yang diikat oleh baut (*bolt*) dan mur (*nut*).



Gambar 2. Mekanisme penyambungan menggunakan ulir pengikat [3]

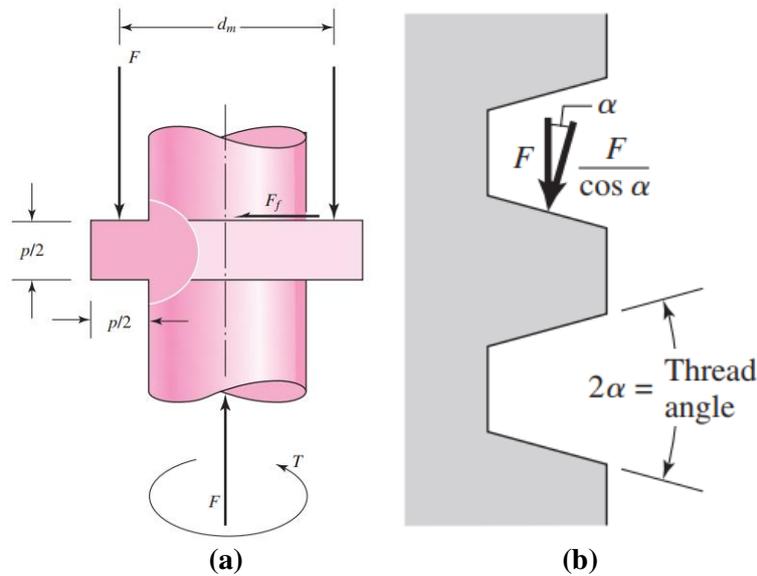
Untuk ulir sekrup yang dimanfaatkan sebagai penggerak linear, ulir tersebut sering disebut dengan ulir daya (*power screw*). Ulir daya didesain untuk mengonversi gerak rotasi menjadi gerak translasi dan menghasilkan gaya yang diperlukan untuk menggerakkan elemen mesin di sepanjang lintasan [4]. Skema mekanisme ulir daya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme ulir daya [5]

Dalam perhitungan kekuatan sambungan ulir RX1220, sambungan ulir antara tabung motor roket dengan *cap* dan nosel dapat dimodelkan sebagai ulir daya. Hal ini dikarenakan tidak adanya anggota sambungan yang diikat oleh ulir sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 1, sehingga sambungan ulir RX1220 lebih tepat dimodelkan sebagai ulir daya.

Gaya yang bekerja pada ulir daya utamanya adalah gaya aksial  $F$  dan gaya gesek  $F_f$  seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Untuk jenis ulir *sharp-V* dan ulir metrik trapezoidal, sudut ulir  $\alpha$  dapat diabaikan dalam perhitungan apabila sudut  $\alpha$  bernilai kecil ( $\cos \alpha \approx 1$ ).



**Gambar 4.** Gaya – gaya yang bekerja pada ulir daya (a); Sudut ulir  $\alpha$  dan pengaruhnya pada perhitungan gaya aksial  $F$  (b) [6].

Pada aplikasi ulir daya sebagai sambungan ulir, gaya gesek  $F_f$  dapat diabaikan sehingga gaya utama yang tersisa adalah gaya aksial  $F$ . Gaya aksial  $F$  ini menimbulkan tiga jenis tegangan, yaitu tegangan aksial  $\sigma$  pada bodi ulir, tegangan bending  $\sigma_b$  pada akar ulir, dan tegangan geser melintang  $\tau$  pada pusat akar ulir. Masing – masing jenis tegangan dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut [6]:

$$\sigma_b = \frac{6F}{\pi d_r n_t p} \quad (1)$$

$$\sigma = -\frac{4F}{\pi d_r^2} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{3F}{\pi d_r n_t p} \quad (3)$$

Dimana,

- $\sigma, \sigma_b, \tau$  = Tegangan aksial pada bodi ulir, tegangan bending pada akar ulir, tegangan geser melintang pada pusat akar ulir (MPa)
- $F$  = Gaya aksial (N)
- $d_r$  = Diameter minor (mm)
- $n_t$  = Jumlah ulir
- $p$  = Jarak gang atau *pitch* (mm)

Untuk dapat menghitung faktor keamanan (*safety factor*, SF) desain ulir, diperlukan nilai tegangan Von Mises  $\sigma'$ . Tegangan Von Mises  $\sigma'$  ini dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan umum berikut:

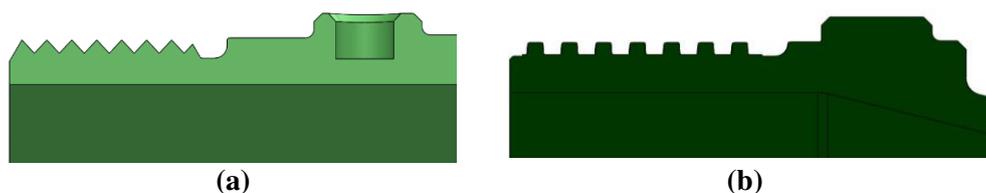
$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ ((\sigma_x) - (\sigma_y))^2 + ((\sigma_y) - (\sigma_z))^2 + ((\sigma_z) - (\sigma_x))^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2} \quad (4)$$

Dimana,

- $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  = Tegangan normal pada arah sumbu-x =  $\sigma_b$ ; tegangan normal pada arah sumbu-y =  $\sigma$ ; tegangan normal pada arah sumbu-z (MPa);



melintang berbentuk trapesium. Spesifikasi teknis untuk kedua jenis sambungan ulir diperlihatkan pada Tabel 1.



Gambar 6. Bentuk sambungan ulir *sharp-V* (a); bentuk sambungan ulir metrik trapezoid (b).

Tabel 1. Spesifikasi teknis sambungan ulir

Parameter	Spesifikasi	
	Ulir <i>Sharp-V</i> (M115x3)	Ulir Metrik Trapezoid (M116x4)
Diameter mayor	115 mm	116 mm
Diameter minor	111 mm	111.5 mm
Diameter tusuk ( <i>pitch diameter</i> )	113 mm	113.9 mm
Jarak gang atau <i>pitch</i>	3 mm	4 mm
Jumlah ulir	7	7
Sudut ulir	15 derajat	15 derajat

Material yang digunakan pada kedua jenis ulir adalah Aluminium Alloy 6061-T6. Spesifikasi teknis material dapat ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Karakteristik material Aluminium Alloy 6061-T6 [8]

Karakteristik	Nilai
$\rho$ , <i>Density</i>	2700 kg/m <sup>3</sup>
$S_u$ , <i>Ultimate Tensile Strength</i>	310 Mpa
$S_y$ , <i>Tensile Yield Strength</i>	276 Mpa
$E$ , <i>Modulus of Elasticity</i>	68.9 Gpa
$\nu$ , <i>Poisson Ratio</i>	0.29
$G$ , <i>Shear Modulus</i>	26 Gpa

Beban operasional yang bekerja pada roket RX1220 adalah beban tekanan pembakaran yang terjadi di dalam tabung motor roket. Beban tekanan pembakaran yang terjadi adalah maksimum sebesar 120 bar. Beban tekanan ini merupakan hasil prediksi terhadap performa sistem propulsi yang bekerja pada saat roket terbang. Beban tekanan kemudian dikonversi menjadi gaya aksial yang terjadi pada sambungan ulir. Untuk mendapatkan gaya aksial, tekanan pembakaran perlu dikalikan dengan luas permukaan *cap*. Spesifikasi beban operasional selengkapnya dirangkum dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Beban operasional roket RX1220 [9]

Karakteristik	Nilai
$P$ , <i>Pressure</i>	120 bar; 12 Mpa
$A$ , <i>Cap area</i>	9160 mm <sup>2</sup>
$F$ , <i>Force</i>	107 kN

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkuman hasil perhitungan tegangan Von Mises dan faktor keamanan untuk kedua jenis desain ulir dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil perhitungan menyimpulkan bahwa faktor keamanan untuk ulir *sharp-V* dan ulir metrik trapezoidal adalah masing – masing sebesar 2.24 dan 2.98.

**Tabel 4. Hasil perhitungan tegangan Von Mises dan faktor keamanan sambungan ulir**

Parameter	Nilai	
	Ulir <i>sharp-V</i>	Ulir metrik trapezoidal
Tegangan aksial, $\sigma$	87.53 MPa	66.24 MPa
Tegangan bending, $\sigma_b$	10.94 MPa	11.14MPa
Tegangan geser melintang, $\tau$	43.76 MPa	33.12 MPa
Tegangan Von Mises, $\sigma'$	120.62 MPa	95.33 MPa
Faktor keamanan	2.24	2.98

Uji hidrostatis ulang untuk menguji kekuatan sambungan ulir metrik trapezoidal telah dilakukan pada September 2018. Pengujian dilakukan di lokasi yang sama dengan sebelumnya pada tahun 2017, yaitu Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (B2TKS BPPT) Puspiptek Serpong. Selain itu, seluruh pengaturan awal peralatan pengujian juga sama seperti pada pengujian sebelumnya. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa sambungan ulir mengalami kebocoran pada tekanan uji 140 bar. Lokasi kebocoran dapat dilihat pada Gambar 7. Pengujian kemudian dilanjutkan hanya sampai pada tekanan 160 bar karena dikhawatirkan akan dapat merusak peralatan pengujian jika tekanan uji terlalu tinggi. Berdasarkan pengamatan visual, didapati bahwa sambungan ulir tidak mengalami kerusakan pada tekanan uji maksimum 160 bar.

**Gambar 7. Lokasi kebocoran pada tutup benda uji dengan tekanan uji 140 bar [10]**

Dari uraian hasil perhitungan dan uji hidrostatis, dapat dilihat bahwa modifikasi ulir dari jenis “*sharp-V*” menjadi “metrik trapezoidal” memberikan peningkatan hasil baik pada aspek perhitungan analitis maupun uji hidrostatis. Ringkasan peningkatan hasil dapat dirangkum pada Tabel 5. Pada hasil perhitungan secara analitis, terjadi peningkatan nilai faktor keamanan terhadap kegagalan bahan yaitu meningkat dari 2.24 menjadi 2.98. Sedangkan pada hasil uji hidrostatis, terjadi peningkatan ketahanan terhadap kebocoran dari 90 bar menjadi 140 bar. Masing – masing aspek mengalami peningkatan hasil berturut – turut yaitu sebesar 33% dan 55%. Selain kedua aspek tersebut, ketahanan terhadap kegagalan pada sambungan sebenarnya juga telah jelas terlihat terjadi peningkatan. Meskipun demikian, hal tersebut tidak dapat dinilai lebih jauh karena uji hidrostatis pada sambungan ulir metrik trapezoidal tidak sampai merusak sambungan ulir.

**Tabel 5 Ringkasan peningkatan hasil pada aspek perhitungan analitis dan uji hidrostatis**

Parameter	Ulir <i>sharp-V</i>	Ulir Metrik Trapezoidal	Persentase Peningkatan
Faktor keamanan	2.24	2.98	33%
Tekanan uji hingga kebocoran	90 bar	140 bar	55%
Tekanan uji maksimum	127 bar	160 bar	-

#### 4. KESIMPULAN

Perubahan desain sambungan ulir bertujuan untuk mengatasi masalah kebocoran pada sambungan ulir yang terjadi pada tekanan 90 bar. Dari hasil perhitungan analitis dan uji hidrostatis yang telah disampaikan dapat disimpulkan bahwa sambungan ulir metrik trapezoidal dinilai lebih mampu menahan

beban akibat tekanan pembakaran yang bekerja pada struktur tabung motor roket daripada sambungan ulir *sharp-V*. Hal ini terlihat dengan adanya peningkatan nilai faktor keamanan dan ketahanan terhadap kebocoran berturut – turut sebesar 33% dan 55%. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa desain ulir yang baru ini telah merupakan desain yang lebih optimal dan telah memenuhi persyaratan desain.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kepala Pustekroket Drs. Sutrisno, M.Si dan Tim Desain Struktur Ringan atas fasilitas serta dukungan dalam melakukan kegiatan penelitian ini serta Jajaran Program Roket Sonda yang terlibat secara langsung atau tidak langsung.

#### PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi makalah ini merupakan tanggung jawab penulis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Laporan Uji Hidrostatik *tube* aluminium 6061 22 November 2017, di Laboratorium Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) BPPT Puspiptek Serpong Tangerang.
- [2] K. Amol dan S. M. Shaikh. “*Review of Threaded Fasteners Loosening and Its Effect*”. 4<sup>th</sup> International Conference on Recent Trends in Mechanical Engineering. 23 – 23 April 2016. UEA.
- [3] N. Repcic, S. Isad, dan V. Avdic. “*Theoretical Reviews on How to Improve the Degree of Efficiency on Power Screws*”. 16<sup>th</sup> International Research / Expert Conference on Trends in Development of Machinery and Associated Technology. 10 – 12 September 2012. UEA.
- [4] R. Gopinath. “Design of Power Screw.” *Middle-East Journal of Scientific Research*, vol. 20 no. 5, pp. 630 - 634, 2014.
- [5] [http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/MEM30009A/lifting\\_systems/lifting\\_systems.html](http://www.learneasy.info/MDME/MEMmods/MEM30009A/lifting_systems/lifting_systems.html), diakses pada: Selasa, 16 Juli 2019 11:10 WIB.
- [6] R. G. Budynas dan J. K. Nisbett. *Shigley's Mechanical Engineering Design*, Ninth Edition, McGraw Hill Book Company, New York, 2011.
- [7] <http://enginemechanics.tpub.com/14119/Hydrostatic-Testing-Equipment-356.html>, diakses: Senin, 29 Juli 2019 9:40 WIB
- [8] <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061T6> , diakses: Jumat, 17 Mei 2019 10:10 WIB.
- [9] Technical Report Bentuk Sambungan Ulir Pada RX1220.
- [10] Laporan Uji Hidrostatik *tube* aluminium 6061 18 September 2018, di Laboratorium Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) BPPT Puspiptek Serpong Tangerang.