

# **ANALISIS KINERJA PROPELAN LAPAN BERDASARKAN DENSITAS-ISP**

## ***PERFORMANCE ANALYSIS OF LAPAN PROPELLANT BASED ON DENSITY-ISP***

Kendra Hartaya, Luthfia Hajar Abdillah  
Pustekroket/ LAPAN  
kendra19838@yahoo.co.id

### **Abstrak**

Telah dilakukan analisis kinerja propelan LAPAN dengan cara membandingkan terhadap kinerja propelan dari *Industrial Solid Propulsion, Inc* (ISP) sebagai standar. Perbandingan dilakukan menggunakan data perkalian Isp (Impuls spesifik) dan massa jenis (densitas). Propelan LAPAN yang dibuat dengan komposisi *Solid Content* (SC) 85% Amonium Perklorat (AP) 77%, Aluminium bubuk 8%), Binder 15% menghasilkan massa jenis 1,67 gr/cc Impuls spesifik 206 detik, sehingga hasil perkalian massa jenis dan impuls spesifik 317,3. Sementara propelan standar dengan komposisi AP/Al/binder memiliki massa jenis 1,781 gr/cc Impuls spesifik 262,2 detik dengan hasil kali massa jenis dan impuls spesifik 467. Melalui rasio propelan LAPAN terhadap propelan ISP bisa dinyatakan sebagai kinerja propelan LAPAN sebesar 68%. Peningkatan Impuls spesifik bisa diupayakan dengan menaikkan kandungan dan kemurnian Aluminium, menambahkan *modifier* (percepatan pembakaran). Kata kunci: kinerja, propelan LAPAN, densitas.Isp.

### **Abstract**

*It is analyzed the performance of the propellant LAPAN by comparing to the performance of propellants from Industrial Solid Propulsion, Inc. (ISP) as standard. The comparison is done using Isp and density multiplication. The LAPAN propellant composition made with Solid Content (SC) 85% (Ammonium Perchlorate (AP) 77%, Aluminum powder 8%), Binder 15% yields the density of 1.67 g / cc, the specific impulse 206 seconds, so the result of multiplying the density and the specific impulse is 317.3. While the standard propellant with the composition AP / Al / binder has the density of 1.781 g/cc, the specific impulse 262.2 seconds so the multiplying of the density and the specific impulse is 467. By the ratio of LAPAN's propellant against the ISP propellant can be expressed as performance of the LAPAN propellant for 73.5%. The increase in specific impulse can be done by increasing the Aluminum content and purities, adding modifier (acceleration burning).*  
*Keywords: performance, LAPAN propellant, density.Isp.*

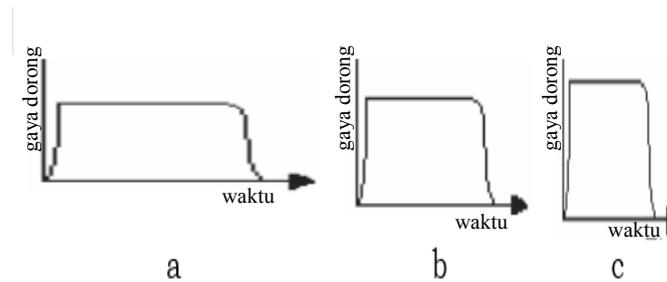
## **1. PENDAHULUAN**

Samosir dalam penelitiannya dengan studi kasus untuk propelan ukuran 320mm mengatakan bahwa *propelan LAPAN memiliki laju bakar 7 mm/dt* [4].

### **Upaya menaikkan nilai Impuls Spesifik**

Hartaya dan Abdillah menjelaskan bahwa dalam uji statik propelan bisa saja menghasilkan kurva seperti di bawah ini [3]. Dalam gambar 1, luasan di dalam kurva menyatakan besaran impuls spesifik, yang tidak lain adalah perubahan gaya dorong sebagai fungsi waktu. Gambar 1a menyatakan gaya dorong yang kecil dengan waktu bakar lama. Gambar 1b gaya besarnya dorong lebih besar, namun waktu bakar lebih cepat daripada 1a. Gambar 1c gaya dorong besar dan waktu bakar sangat singkat. Luasan maksimal (Isp paling tinggi) dicapai jika kurva hasil uji statik mendekati bujur sangkar (segi empat dengan panjang sama dengan lebar). Pada propelan dengan komposisi yang sama, Isp propelan akan paling tinggi jika kurva yang dihasilkan mendekati gambar 1c dibanding 1a dan 1b. Dengan kata lain, upaya menaikkan nilai Isp adalah dengan menaikkan gaya dorong. Gaya dorong meningkat jika laju bakar propelan meningkat pula. Kenaikan laju bakar bisa diupayakan dengan mengecilkan ukuran

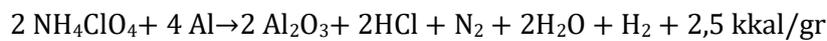
oksidator amonium perklorat, menambah *modifier* (katalis laju bakar), menaikkan kandungan aluminium *powder*.



Gambar 1. Kurva hasil uji statik dengan ordinat (gaya dorong), axis (waktu)

### Kinerja Propelan

Bouajila dan Riccius mengatakan bahwa *kinerja propelan bisa diukur dengan perkalian impuls spesifik dan densitas* [1]. Kenaikan densitas bisa berakibat kenaikan impuls spesifik dan monainya densitas banyak disumbang oleh aluminium. Sementara kenaikan kandungan aluminium akan menaikkan energi pembakaran yang dibebaskan sebagaimana reaksi berikut.



Tetapi naiknya impuls spesifik tidak serta merta akibat kenaikan densitas propelan. Naiknya Isp bisa pula akibat pengecilan ukuran oksidator amonium perklorat dan atau adanya katalis pembakaran yang akan menaikkan laju bakar. Dengan demikian membandingkan propelan guna mengukur kinerjanya dengan hanya melihat nilai Isp adalah sangat kurang tepat. Karena dua propelan dengan komposisi dasar yang sama namun berbeda ukuran oksidatornya, akan menghasilkan nilai Isp yang berlainan. Dua propelan dengan komposisi yang sama akan memiliki nilai densitas yang sama, meskipun nilai Isp nya berbeda. Di sisi lain, dua propelan dengan densitas berbeda akan menghasilkan nilai Isp yang sama jika propelan dengan densitas lebih rendah mengandung sedikit katalis pembakaran. Propelan dengan ukuran oksidator lebih kecil akan galak (lebih cepat terbakar) karena oksidator memiliki permukaan yang lebih luas sehingga memudahkan kontak dengan aluminium sebagai bahan yang akan terbakar. Propelan 1 dengan adanya *modifier* dan propelan 2 dengan adanya Aluminium bisa memiliki Isp sama atau berbeda. Secara ringkas uraian ini bisa disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Isp Propelan Pada Kondisi dan Komposisi Tertentu

	Propelan 1	Propelan 2	keterangan
Kondisi A	Komp =		Isp =
Kondisi B	Komp	Komp+Al	Isp <sub>2</sub> >, ρ <sub>2</sub> >
Kondisi C	Komp+mod	Komp+Al	Isp= atau ≠
Kondisi D	Komp	Komp+mod	Isp <sub>2</sub> >
Kondisi E	φAP >	φAP <	Isp <sub>2</sub> >

Ket: φ: diameter, > : lebih besar, < : lebih kecil, ρ : densitas, Al : Aluminium, Mod : *Modifier*, Komp : Komposisi

*Industrial Solid Propulsion Inc* memproduksi propelan AP-HTPB-Al dengan data komposisi, densitas, laju bakar, Isp, dan hasil kali ρ•Isp sebagai berikut:

Tabel 2. Data Propelan ISP, Inc

Komp	SC, %	ρ, g/cc	r. mm/dt	Isp, dtk	ρ•Isp
A	81	1,622	11,06	233,2	378,3
B	82	1,631	6,3	235,5	384,1
C	82	1,647	12,4	235,6	388,0
D	82	1,642	22	237,6	390,1
E	80	1,622	11,8	249,4	404,5
F	87	1,72	9,4	253,3	435,7
G	85	1,781	17,9	262,2	467
H	88	1,8	9,01	263	473,4

sumber : [2]

Dari hasil perhitungan berdasar reaksi pembakaran aluminium oleh amonium perklorat, Hartaya dkk mengatakan bahwa untuk membakar aluminium sebanyak 26 gr memerlukan AP sebesar 56 gr. Jika suatu propelan dengan komposisi Binder 15%, AP 65% dan Aluminium dalam kandungan 20%, maka untuk membakar 20% Al hanya butuh AP sebanyak 45% [5]. Ini bisa dinyatakan bahwa kandungan AP sebanyak 65% adalah melimpah relatif terhadap kandungan aluminium. Lebih-lebih jika kandungan aluminium dalam propelan adalah jauh lebih sedikit daripada 20%, maka AP sangat jauh melimpah.

Kuo menyajikan persamaan untuk menghitung densitas propelan sebagaimana persamaan (1) di bawah ini,  $N_c$  menyatakan banyaknya komponen,  $Y_j$  fraksi suatu komponen [6]. Dari rumus ini jika dihitung densitas propelan dengan komposisi 8%Al, 14% HTPB, 1% TDI, 77%AP maka diperoleh densitas teoritis sebesar 1,7087 gr/cc.  $Y_j$  adalah fraksi massa suatu komponen propelan dan  $\rho_j$  adalah densitas dari komponen tersebut [7].

$$\rho_{propellant} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{N_c} \frac{Y_j}{\rho_j}} \tag{1}$$

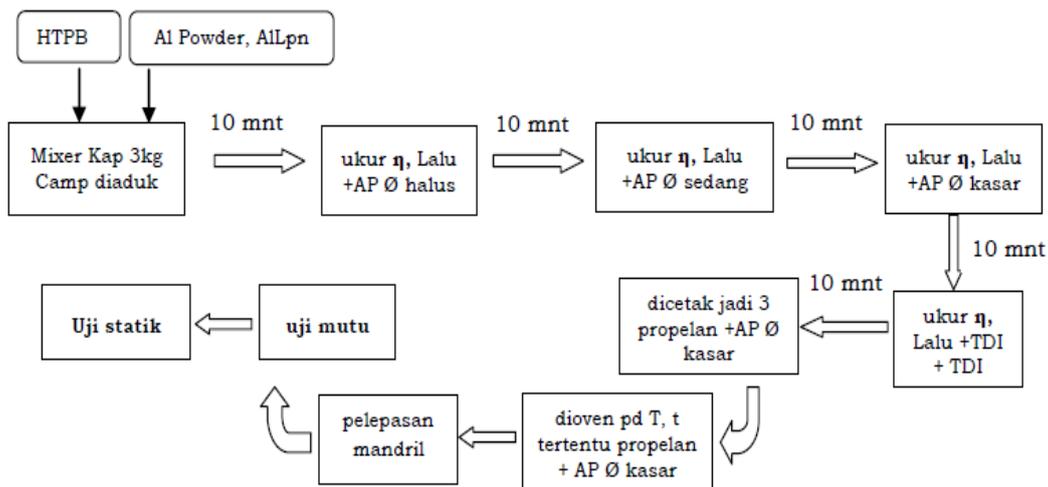
Untuk keperluan perhitungan suatu densitas propelan, pada tabel di bawah ini disajikan densitas dari komponen dasar propelan, yang meliputi HTPB, AP, TDI, dan Al.

**Tabel 3. Densitas dan Fase Komponen Dasar propelan [7]**

Senyawa	Densitas, g/cc	Fase
HTPB	0,918	Liquid
TDI	1,214	Liquid
AP	1,95	Solid
Al	2,7	Solid

## 2. METODOLOGI

Salah satu propelan LAPAN adalah propelan k-round yaitu propelan dengan dimensi berupa diameter dalam, diameter luar dan panjang berturut-turut sebesar 26 mm, 59 mm dan 200 mm [8]. Langkah-langkah pembuatannya ditampilkan pada Gambar 2 berikut ini.



**Gambar 2. Langkah pembuatan propelan k-round**

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian pembuatan propelan dengan ukuran k-round dengan dua macam komposisi yang memiliki kandungan aluminium powder berbeda, pada pengukuran densitas diperoleh data sebagaimana tersaji pada Tabel 4 di bawah ini. Kemurnian Aluminium adalah 89,6%.

**Tabel 4. Densitas Propelan Pada Kandungan Al 8% dan 18%**

Kandungan Al <i>powder</i>	Massa jenis
8%	1,67 gr/cc
18%	1,71 gr/cc

Tabel 5 berikut ini disajikan nilai Isp propelan ukuran K-Round (roket skala kecil yang digunakan untuk pengembangan) v dengan binder 15% dan kandungan Aluminium *powder* 7,5%. Pembuatan propelan dilakukan secara berulang sebanyak tiga kali yang masing-masing batch menghasilkan 3 silinder propelan.

**Tabel 5. Nilai Isp Propelan K-Round Al 7,5%**

Ulangan	Solid Content	Isp, detik	Isp Rata-rata, detik
Ke-1	85%	165; 204; 191	187
Ke-2	85%	196; 204; 205	202
Ke-3	85%	201; 203; 204	203

### Densitas maksimum

Densitas teoritis seperti tersaji di atas untuk propelan dengan komposisi Al 8% solid content 85% binder 15% adalah 1,7087 gr/cc yang dihitung berdasar rumus densitas. Dalam praktek, propelan dengan komposisi 8%Al, Solid content 85%, binder 15% diperoleh densitas 1,67 gr/cc, dan untuk Al 18% diperoleh densitas 1,7513 gr/cc (secara teoritis) dan 1,71 gr/cc (secara praktek). Propelan dengan kandungan Al hingga 20% hanya memerlukan AP untuk pembakaran sebesar 45%, sehingga masih memungkinkan untuk menaikkan kinerja propelan (Isp) dengan menambahkan kandungan Al hingga 20%. Sementara dari grafik William yang menyajikan hubungan antara kandungan Al versus Isp, kandungan Al maksimum pada 19%, karena lebih dari 19% Isp propelan akan menurun.

### Isp Avibras , Isp k-round dan Isp maksimum pada komposisi yang dikaji

Komposisi propelan yang dikaji adalah propelan dengan kandungan Al sebanyak 7,5%, solid content 85%, binder 15%. Nilai Isp propelan baik secara teoritis dan praktek ditampilkan pada Tabel 6 berikut.

**Tabel 6. Nilai Isp Teoritis dan Praktek**

Isp propelan Teoritis (detik)		Isp Praktek (detik)		
Diagram Timnat	Diagram William	K-Round	R-Han	Avibras
248	250	197,3*	190,3	189,8**

\*rata-rata dari Tabel 5; \*\* dilakukan upaya menaikkan menjadi 229, 6 detik dengan merubah grain, dan menambahkan aditif Av-X (eksplosiv avibras)

Untuk propelan dengan komposisi kandungan Al 7,5%, solid content 85% binder 15% pada diagram segi tiga (OH-AP-PB) dari Timnat memberikan Isp teoritis sebesar 248 detik [9], sementara dari diagram William memberikan Isp 250 detik [10]. Nilai praktis dari hasil uji Isp adalah 187 detik, 202 detik dan 203 detik untuk propelan Ukuran K-round. Isp tidak lain adalah seluruh energi yang terkandung dalam propelan tersebut. Jika satu batch dicetak menghasilkan 3 silinder yang siap uji statik, maka rata-rata dari 3 Isp tersebut adalah Isp yang sesungguhnya. Namun dalam praktek assembling (perakitan) dari tiap silinder untuk bisa masuk ke tabung motor roket perlu ada beberapa yang terbuang, dan jika propelan tidak homogen (kurang dijamin homogen) adakalanya yang terbuang adalah yang banyak mengandung Aluminium sebagai sumber energi termal. Dalam hal ini maka nilai Isp 187 detik adalah silinder propelan yang dalam assembling beberapa yang terbuang adalah yang banyak mengandung Aluminium. Dari 3 nilai Isp jika dirata-ratakan akan menghasilkan nilai rata-rata Isp sebesar 197,3 detik. Propelan K-Round yang selalu digunakan dalam uji statik propelan sampel-sampel kecil memiliki grain hollow.

Pada komposisi propelan dengan 7,5%, Rhan memberikan Isp 190,3 detik, sementara hasil perhitungan Avibras memberikan 189,8 detik terpaut selisih sedikit. Upaya Avibras menaikkan nilai Isp menjadi 229, 6 detik dengan merubah grain, yang semula grain bintang 7 menjadi grain bintang 5, dan dalam komposisi terkandung Av-X (eksplosiv avibras). Masih banyak yang bisa diupayakan untuk

menaikkan nilai Isp, selain jika dikehendaki, dengan menaikkan kandungan Aluminium. Cara lain menaikkan Isp adalah dengan berusaha mendapatkan aluminium dengan kemurnian tinggi. Aluminium yang pernah digunakan pada tahun 2013 adalah bentuk bulat dengan kemurnian 89,6%.

**Densitas.Isp sebagai kinerja**

Membandingkan propelan yang satu dengan propelan yang lain yang dianggap sebagai propelan rujukan (standar) adalah yang paling mudah untuk mengukur kinerja propelan LAPAN yang dibuat. Parameter untuk membandingkan adalah nilai Isp, nilai densitas, juga nilai keduanya atau sifat-sifat lainnya. Membandingkan propelan guna mengukur kinerja melalui data densitas tidak mudah karena selisih densitas kedua propelan (antara propelan yang dibuat dan propelan yang dianggap sebagai rujukan) tidak besar. Selain itu tidak mudah untuk memutuskan apakah selisih densitas tersebut bisa diabaikan atau tidak. Untuk membedakan kedua densitas secara statistik memerlukan data banyak, dan ini sebuah kesulitan tersendiri.

Membandingkan dengan parameter Isp masih bisa dilakukan. Isp adalah perubahan gaya dorong per satuan waktu per satuan berat propelan. Dalam kurva hasil uji statik, Isp adalah sebuah kurva yang dibatasi dalam diagram cartesian yang mana axis (sebagai waktu) dan ordinat sebagai gaya dorong. Luasan di dalam kurva merupakan besaran energi, yang tidak lain adalah Isp sebagaimana disajikan dalam gambar 1a, 1b, 1c di atas. Propelan dengan komposisi tertentu akan menghasilkan suatu kurva gaya dorong sebagai fungsi waktu. Penambahan sedikit zat yang berfungsi sebagai katalis pembakaran ke dalam komposisi tersebut akan menaikkan laju bakar sehingga akan menaikkan gaya dorong. Jika gaya dorong bertambah dari komposisi tersebut maka lama pembakaran akan berkurang. Dalam gambar 1abc di atas penambahan katalis pembakaran akan merubah kurva dari gambar 1a ke 1b atau bahkan ke 1c. Jika bentuk kurva mendekati bujur sangkar maka luasan dalam kurva akan bertambah, sehingga Isp propelan akan bertambah tanpa merubah komposisi utama bahan baku propelan yaitu HTPB, TDI, AP, Al. Dengan penambahan sedikit katalis pembakaran ini, densitas propelan tidak meningkat secara signifikan, sementara nilai Isp bisa meningkat secara signifikan. Jadi membandingkan propelan dengan parameter Isp tidaklah selalu bisa dilakukan, hanya karena salah satu propelan mengandung sedikit katalis pembakaran. Maka yang paling tepat adalah dengan parameter hasil kali densitas dan Isp ( $\rho \cdot Isp$ ).

Alhasil, propelan dengan penambahan sedikit katalis pembakaran tidak akan menaikkan densitas namun akan menaikkan Isp secara signifikan. Dua propelan dengan komposisi bahan baku yang sama ( $\rho$  sama), namun salah satu propelan mengandung sedikit katalis pembakaran ( $\rho$  tidak berbeda secara signifikan), maka propelan dengan katalis pembakaran ini akan menghasilkan Isp lebih besar). Oleh karena itu parameter yang bisa menjelaskan bahwa kedua propelan berbeda, adalah hasil kali densitas dan Isp ( $\rho \cdot Isp$ ). Tanpa adanya  $\rho$ , perbedaan Isp dari kedua propelan bisa disebabkan karena komposisinya berbeda. Tanpa adanya Isp, tidak nampak adanya perbedaan kinerja dari dua propelan tersebut karena keduanya memiliki densitas yang sama.

Sebenarnya pada data Isp dalam Tabel 5 di atas, 3 nilai Isp yang berdekatan (pada Ulangan ke-3) yaitu 201 detik, 203 detik, 204 detik (rata-rata 203 detik), bisa dianggap bahwa adonan homogen dalam arti sebaran Al dan AP merata karena 3 silinder memiliki Isp yang berdekatan (selisihnya kurang dari 5 detik). Nilai Isp ini bisa digunakan sebagai rujukan dalam menganalisis kinerja propelan hasil pengembangan. Dengan Isp 203 detik dan densitas untuk propelan dengan kandungan Al 8% sebesar 1,67 gr/cc, maka hasil kali  $\rho \cdot Isp = 1,67 \cdot 203 = 339,01$ . Selain itu bisa juga menggunakan data dari peneliti luar (propelan Industrial Solid Propulsion Inc, ISP) yang mana data komposisi, densitas, Isp, laju bakar, dan hasil kali  $\rho \cdot Isp$  tertuang dalam Tabel 2 di atas, menyesuaikan dengan kandungan solid content, densitas atau laju bakar.

**Kritik terhadap kinerja propelan LAPAN yang ada**

Hasil kali  $\rho \cdot Isp = 1,67 \cdot 203 = 339,01$  dapat digunakan untuk mengukur kinerja propelan hasil pengembangan di LAPAN. Sebagai standar bisa menggunakan propelan ukuran K-Round dan propelan dari ISP (Industrial Solid Propulsion Inc), sebagaimana ditampilkan pada Tabel 7 berikut ini.

**Tabel 7. Nilai  $\rho \cdot Isp$  dari macam-macam propelan**

K-round*	R-Han	ISP, Inc
339,01	317,3	467

Dari hasil tersebut bisa dievaluasi kinerja propelan Rhan dengan komposisi 7,5%Al, Binder 15%, AP 77,5%, dengan densitas 1,67 gr/cc yang memiliki nilai Hasil kali  $\rho \bullet I_{sp} = 1,67 \bullet 190 = 317,3$ . Berdasarkan hasil kali  $\rho \bullet I_{sp}$  maka kinerja Rhan sebesar 93,6% (merujuk Propelan K-Round) atau sebesar  $= 317,3/467 = 68\%$  (merujuk ISP Inc). Propelan ISP, Inc. yang digunakan dengan solid content 85% diduga menggunakan Al banyak karena laju bakar tinggi 17,9 mm/detik atau bisa juga menggunakan katalis pembakaran. Jika dilihat dari densitas 1,781 gr/cc yang melebihi 1,71 gr/cc (pada 18%Al), maka Al yang digunakan lebih dari 8% dan multimodal. Sebagai propelan standar, propelan K-round lebih tepat digunakan karena memiliki komposisi yang sama. Sementara propelan ISP hanya menyajikan besarnya kandungan solid content, yang tidak menyajikan kandungan AP dan Al.

### **Strategi Menaikan Isp dengan *modifier* dan menaikkan kandungan Al**

Aluminium merupakan penyumbang densitas terbesar dalam propelan karena Al memiliki densitas paling besar. Selain itu pembakaran Al oleh AP menghasilkan energi lebih besar daripada pembakaran binder oleh AP. Sementara energi hasil pembakaran memiliki hubungan positif dengan Isp. Dari uraian ini, dapat dikatakan bahwa densitas berkorelasi dengan Isp. Oleh karena itu upaya menaikkan Isp dilakukan dengan cara menaikkan densitas propelan.

Dari data, propelan LAPAN yang bisa dibuat dengan kandungan Al 18 memiliki densitas 1,71 gr/cc. Jika kandungan Al kurang dari 18% maka densitas akan lebih kecil dari 1,71 gr/cc. Dengan melihat bahwa laju bakar hanya 7 mm/dt sebagaimana ditulis Samosir [4], maka untuk mengukur kinerja hanya bisa merujuk pada data ISP dengan  $\rho$  1,631 gr/cc dan laju bakar 6,3 mm/dt, sehingga Isp maksimum 235,5 detik. Dengan demikian bisa disarankan untuk menaikkan Isp dari 203 detik hingga 235,5 detik dengan penambahan komponen *modifier* kedalam propelan. Peningkatan Isp propelan tidak lain adalah peningkatan luas hasil uji statik antara gaya dorong dan waktu bakar. Hal ini dilakukan dengan penambahan kandungan Al dan atau peningkatan gaya dorong dengan penambahan *modifier* (katalis pembakaran).

## **4. KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian yang dilakukan dan pembahasan yang sudah diuraikan panjang lebar di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Kinerja propelan LAPAN dapat dianalisis dengan membandingkan dengan propelan dari ISP sebagai standar pada komposisi yang sama, menggunakan data hasil kali Impuls spesifik dan densitas.
- Propelan LAPAN memiliki hasil kali densitas dan impuls spesifik sebesar 317,3 sedangkan propelan dari ISP memiliki hasil kali massa jenis dan impuls spesifik 467 sehingga rasio propelan LAPAN terhadap propelan dari ISP sebesar 68% yang dinyatakan sebagai ukuran kinerja propelan LAPAN.
- Peningkatan hasil kali massa jenis dan impuls spesifik bisa dilakukan dengan penambahan kandungan Aluminium hingga 18% dan penggunaan aluminium dengan kemurnian tinggi, juga bisa dengan penambahan *modifier* (bahan peningkatan laju bakar).

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Teknologi Roket LAPAN yang telah mendukung dalam hal fasilitas untuk terselesaikannya makalah ini.

### **PERNYATAAN PENULIS**

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

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Bouajila, Wissam., Riccius, Jörg. “The Unified Specific Impulse – A Selection Criterion For Green Propellants”, *4<sup>th</sup>-European Conference For Aerospace Sciences (EUCASS), Germany*, 2011.
- [2] Product Portopolio, Industrial Solid Propulsion Inc.
- [3] Hartaya, K., dan Abdillah, L.H. *Evaluasi Nilai Impuls Spesifik Propelan Padat Komposit dengan Metode Cross-Ceck dan Aplikasinya*, Buku Bunga Rampai : Teknologi Pesawat Terbang sebagai Mitra Pengembang Teknologi Roket dan Satelit Nasional, IBP, Jakarta, 2015.
- [4] Samosir, G. “Perhitungan dan Perancangan Igniter Berbasis Kalkulasi Propulsi Roket (Studi Kasus Roket RX 320)”, *J. Tekn. Dirg.*, Vol. 9 No. 2, 2011.
- [5] Hartaya, K., Abdillah, L.H., Ardianingsih, R. “Penentuan Kandungan Oksidator Berdasar Reaksi Stoikiometri dan Struktur Kristal dalam Rangka Adopsi Formulasi Propelan HLP”, *J. Tekn. Dirg.*, Vol. 12 No. 2, 2014.
- [6] Kuo, K. K. and Acharya, R. *Solid Propellants and their Combustion Characteristics, in Applications of Turbulent and Multiphase Combustion*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2012.
- [7] Hartaya, K., Abdillah, L.H., Ardianingsih, R. *Aplication of Density Property as Alternative Propellant Performance for Accelerating The Development of Propellant Composition*, Prosiding ISAST, 2014.
- [8] Abdillah, L.H., Ardianingsih, R. “Peninjauan Homogenitas Propelan Skala K-Round Berdasarkan Varians Nilai Kalor”, *J. Tekn. Dirg.*, Vol.12 No.1, 2014.
- [9] Timnat, Y.M. *Advanced Chemical Rocket Propulsion*, Academic Press Ltd, London, pp.24, 1987.
- [10] Williams, F.A., Barrere, M., Huang, N.C. *Fundamental Aspects of Solid Propellant Rockets*, Technivision Services Slough, England, 1989.