

ANALISIS KOMPOSISI PROPELAN PADAT 320 SECARA KOMPARASI, PREDIKSI, UJI HOMOGENITAS, DAN UPAYA PENYEMPURNAAN

THE ANALYSIS OF 320 SOLID PROPELLANT COMPOSITION BY PREDICTIVE, HOMOGENITY TEST, AND ATTEMPT TO IMPROVE

Kendra Hartaya, Yudha Budiman, Afni Restasari, Rika Suwana Budi, Fathur Rohman, Bagus Wicaksono, Heri Budi Wibowo, Evi Lestariana, Yulia Azatil Ismah, Rama Dwi Prayoga
Pusat Teknologi Roket, LAPAN
kendra19838@yahoo.co.id

Abstrak

Telah dilakukan analisis komposisi propelan padat motor roket RX-320 yang tersusun atas *fuel Binder Hydroxyl Terminated Polybutadiene* 16,41%, *curing agent Toluene Diisocyanat* 1,09%, *oxidizer oksidator amonium perklorat* 75%, dan *metallic fuel Al powder* 7,5% dengan konfigurasi *propellant grain: double configuration* yaitu *hollow* dan *Wagon Wheel grain*. Analisis dilakukan dengan cara membandingkannya dengan Komposisi propelan motor roket RHan, Komposisi propelan motor roket K-round, dan uji homogen tak merusak dengan metode uji beda berdasar nilai gelap terang film berkas X-ray. Hasil analisis dari film X-ray menunjukkan bahwa propelan berkonfigurasi *hollow* lebih homogen dibanding propelan berkonfigurasi *Wagon Wheel*. Analisis dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kinerja propelan tersebut. Berdasar prediksi hasil uji komposisi propelan padat dari kedua motor roket tersebut dengan menggunakan metode motor roket K-round dihasilkan Isp untuk motor roket RX-320 adalah 205 detik, lebih tinggi daripada komposisi RHan yang hanya 190 detik. Untuk menaikkan Isp, maka diusulkan menambahkan besi oksida sebagai katalis pembakaran, sehingga gaya dorong motor roket akan bertambah.

Kata kunci : propelan, roket, komparasi, prediksi, homogenitas.

Abstract

We have analyzed solid propellant composition for rocket motor RX-320 that was composed of the basic composition with 16.41% fuel Binder, 1.09% Toluene Diisocyanate curing agent, 75% oxydator ammonium perchlorate oxidizer, and 7.5% Al powder as metallic fuel. This rocket motor has double configuration propellant grain, namely hollow and Wagon Wheel configuration. The Analysis is done for knowing the extent of the propellant performace. The analysis has done by comparing it with another propellant compositions, for instance: RHan rocket motor propellant, and K-round rocket motor propellant composition. Method of propellant homogeneity test based on light and dark values of beam X-ray films. The result is hollow propellant grain more homogeneous rather than Wagon propellant grain. Ballistic test of propellant composition by K-round rocket motor shows that RX-320 propellant composition has specific impulse (Isp) 205 seconds. This Isp is higher than Isp of RHan composition propellant that has 190 seconds only. To optimize the Isp, it is proposed adding iron oxide as a combustions catalyst so that the thrust of rocket motor will be increased.

Keywords : propellant, rocket, comparison, prediction, homogeneity

1. PENDAHULUAN

Bahan energetik menurut Akhavan (2011) dan Klapotke (2012) terbagi menjadi propelan, bahan peledak dan piroteknik. Energi yang dihasilkan oleh Propelan dan piroteknik dibebaskan melalui pembakaran secara lambat (*deflagration*). Sedangkan bahan peledak dapat membebaskan energinya melalui proses detonasi dalam waktu mikrodetik [1]. Menurut Smith dan Hashemi (2005), propelan komposit adalah gabungan dua atau lebih bahan dengan sifat kimia dan fisika berbeda yang secara umum tidak saling melarutkan yang ketika bergabung menghasilkan bahan baru dengan sifat berbeda dari bahan asalnya [2]. Propelan komposit tersusun atas oksidator amonium perklorat (AP), Aluminium (Al) yang tersebar ke dalam *Binder Hydroxyl Terminated Polybutadiene* (HTPB). Propelan ini bisa

digunakan mendorong rudal dan kendaraan ruang angkasa [3]. Propelan bisa dibuat dengan mencampur oksidator amonium perklorat 65-70%, Aluminium 15-20%, *Binder Hydroxyl Terminated Polybutadiene* 10-15% dengan pematang *Toluen Diisosianat* [4].

LAPAN mengembangkan propelan dengan bahan baku *Hydroxyl Terminated Polybutadiene*, oksidator amonium perklorat, *Toluen Diisosianat*, Aluminium, yang mana kinerja propelan diupayakan maksimal dengan cara memvariasi komponen bahan baku. Propelan padat tersusun atas *fuel Binder Hydroxyl Terminated Polybutadiene*, *curing agent Toluen Diisosianat*, oksidator/oxidizer ammonium perklorat, dan *metallic fuel Aluminium powder*. Tahap-tahap yang ditempuh dalam pembuatan propelan adalah tahap *mixing*, yaitu pencampuran bahan baku yang dilakukan dalam sebuah *planetary mixer* satu demi satu dan diaduk hingga dianggap homogen. Kemudian tahap *casting*, yaitu adonan propelan yang dianggap sudah homogen dikeluarkan dari *mixer* untuk dicetak dalam sebuah tabung cetakan propelan dengan metode *vacuum casting*. Selanjutnya tahap *coring*, yaitu menusukkan mandrel ke dalam tabung cetakan yang sudah terisi adonan propelan. Tujuan penusukkan mandrel ini agar propelan hasil memiliki lubang di tengah (*grain*) selepas dikeluarkan dari cetakan. Proses dilanjutkan tahap *curing*, yaitu pemasukan propelan ke dalam oven dengan temperatur 60 °C selama 20 jam agar terjadi proses pematangan yaitu selesainya reaksi *Hydroxyl Terminated Polybutadiene* dan *Toluene Diisosianat* membentuk poliuretan dan juga sekaligus penghilangan pori-pori yang terjebak dalam propelan. Setelah tahap *curing*, dilanjutkan dengan tahap *decoring* yaitu mencabut mandrel dari tabung cetakan propelan. Proses diakhiri tahap *finishing* yaitu mengeluarkan propelan yang sudah matang dari dalam tabung cetakan [5].

Kinerja/*performance* sebuah propelan padat dalam suatu motor roket dapat diketahui dari nilai Impuls spesifiknya (*Isp*), yang merupakan besaran terhitung dari dua besaran terukur yang diperoleh dari uji statik motor roket. Impuls spesifik didefinisikan sebagai hasil bagi dari impuls total dengan berat propelan dalam sebuah motor roket yang disajikan pada persamaan 1 di bawah ini [6]. Satuan impuls spesifik adalah detik [7].

$$\text{Specific Impulse } Isp = \frac{\text{Total Impulse } (I_{tot})}{\text{Propellant Weight } (W_{prop})} \quad (1)$$

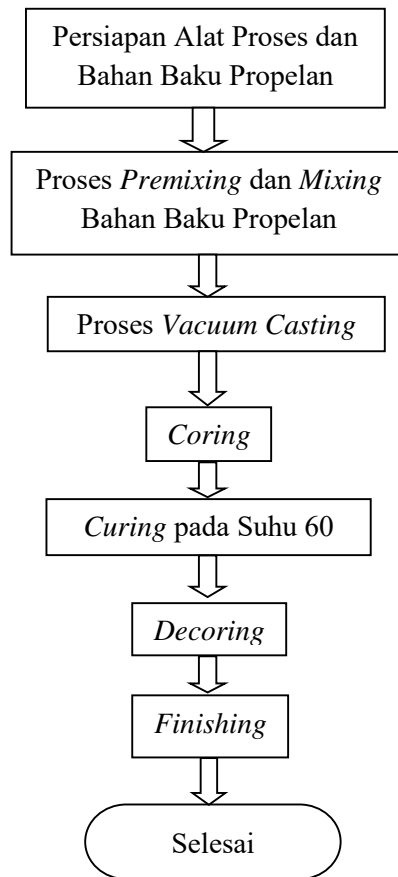
Untuk memperbaiki kualitas propelan berbagai upaya dilakukan, di antaranya mengubah rasio berat bahan baku, memodifikasi ukuran dan dimensi komponen penyusun, menambahkan bahan lain sesuai fungsinya.

Dalam makalah ini akan membahas analisis komposisi propelan padat motor roket RX-320. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan dengan hasil penelitian yang ada, dan memprediksi nilai *Isp* berdasarkan data uji propelan dengan komposisi sejenis. Selain itu, juga dilakukan pengujian homogenitas propelan tanpa merusak dari data film X-ray. Tujuan dari analisis ini adalah memberikan usulan untuk perbaikan pada pengembangan propelan di masa yang akan datang, baik dengan merubah komposisi bahan baku propelan yang sudah ada atau menambahkan material baru.

Kebaruan dari makalah ini terletak pada dilakukannya homogenitas secara tidak merusak berdasarkan paten yang telah didaftarkan oleh LAPAN. Paten tersebut membahas penggunaan data X-ray untuk menguji homogenitas propelan. Selama ini dalam penelitian yang dilakukan, dengan sadar atau tidak, mengasumsikan adonan adalah homogen, tanpa membuktikan melalui pengujian homogenitas adonan. Homogenitas adalah faktor penting jika adonan tidak digunakan semuanya untuk pengujian sehingga hasil ujinya tidak dijamin konsisten. Kebaruan juga terletak pada perbandingan dengan propelan kecil ukuran K-Round. Dengan perbandingan ini nilai-nilai hasil uji propelan besar bisa dievaluasi.

2. METODOLOGI

Tahap proses pembuatan propelan padat dilakukan sebagaimana skema diagram alir pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Diagram alir pembuatan propelan ukuran 320mm [5]

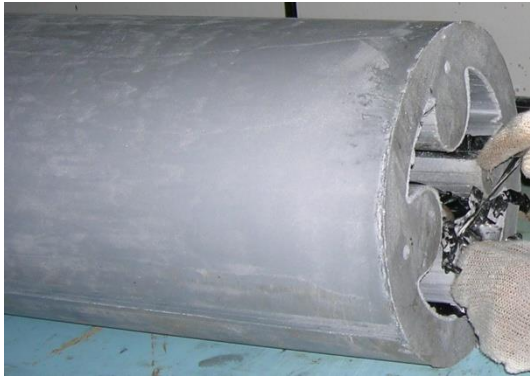
Dari diagram kerja pada Gambar 1 bisa diuraikan sebagai berikut : Persiapan alat proses dan bahan baku meliputi penyediaan komponen propelan yang terdiri dari HTPB, AP, TDI, dan Aluminium *powder* agar mempercepat pada pemasukan ke dalam *mixer*. Sementara persiapan alat proses adalah pengondisian semua peralatan yang digunakan pada persyarat kondisi yang diinginkan. Dengan demikian penggunaan secara berurutan dari awal sampai akhir tidak menemui kendala di tengah berlangsungnya pembuatan propelan. *Premixing* dan *mixing* adalah pencampuran bahan baku propelan ke dalam *mixer*. Sampai menjadi adonan yang dianggap homogen dan siap dicetak menjadi propelan dengan bentuk yang diinginkan. Proses *vacuum casting* adalah pencetakan propelan pada kondisi *vacuum* agar selama penuangan adonan propelan ke dalam tabung cetakan tidak ada udara masuk. *Coring* adalah pemasukan mandrel ke dalam adonan propelan yang sudah masuk ke dalam tabung cetakan agar propelan hasil berbentuk silinder dengan lubang di dalam propelan berbentuk bintang banyak. *Curing* adalah pematangan propelan bersama cetakan dan mandrel ke dalam oven pada suhu 60oC. *Decoring* adalah pencabutan propelan dari tabung cetakan dan pencabutan mandrel dari propelan. *Finishing* adalah membersihkan propelan hasil dari kotoran-kotoran misalnya berupa selotip sisa yang gagal lepas dari propelan.

Metode analisis yang dilakukan adalah uji homogenitas berdasar paten yang sedang didaftarkan [8]. Data yang digunakan adalah gelap-terang dalam X-ray. Diambil data pada beberapa bagian dan rata-ratanya dibandingkan. Jika rata-rata sama maka disimpulkan homogen. Perbandingan dengan propelan K-round adalah untuk memprediksi seberapa besar nilai Isp pada propelan tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pembuatan propelan beserta jenis *grain* propelan disajikan seperti Gambar 2 dan Gambar 3 di bawah ini. Adapun propelan ukuran 320mm yang digunakan untuk roket adalah berbentuk *grain Wagon Wheel*, *grain Hollow*, dan *grain Wagon hollow (double configuration)*. Gambar 2 dan Gambar 3 di bawah ini disajikan agar kedua bentuk bisa dilihat dan nampak berbeda. Hal ini penting jika pada

uji homogenitas menghasilkan kesimpulan yang berbeda dan bisa dijelaskan. Pada bentuk silinder jauh lebih mudah mendapatkan data gelap-terang pada posisi yang identik. Kedua propelan pada Gambar 2 dan 3 memiliki komposisi yang sama sebagaimana disajikan pada Tabel 1.



Gambar 2. *Wagon Wheel grain*



Gambar 3. *Hollow grain*

Data mengenai komposisi propelan ukuran 320mm disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Komposisi propelan 320mm

Bahan	Persentase	Berat (gr)
AP kasar	37,5	39,375
AP Halus (<i>grinding</i>)	37,5	39,375
Aluminium Powder	7,5	7,875
HTPB	16,41	17,227
Toluen Diisosiyanat	1,09	1,148
Jumlah	100,0	105,0

Tabel 2 berikut ini menyajikan hasil uji gelap terang Film berkas X-ray. Data ini digunakan untuk uji homogenitas propelan.

Tabel 2. Data gelap-terang (*optical density*) film X-ray

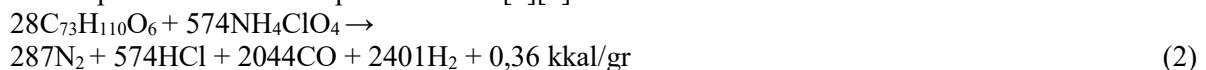
<i>Wagon</i>			1. <i>Hollow Wagon</i>			<i>Hollow</i>		
Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
204	218	211	179	201	212	194	197	196
201	227	206	174	209	198	197	204	198
186	227	210	178	204	204	197	215	202
184	234	208	185	199	190	198	236	217
194	202	206	188	205	180	204	237	203
223	194	205	187	210	176	202	225	206
201	212	209	192	206	173	202	213	241
188	217	210	224	203	120	201	201	242
173	214	218	228	212	191	202	200	244
174	222	207	229	207	176	200	206	231
225	227	230	197	240	211	234	245	244
208	225	224	204	228	206	244	249	243
220	229	238	231	232	196	222	241	238
212	221	228	220	223	208	242	241	244
202	224	229	248	242	242	247	249	236
209	225	232	288	241	211	229	248	233
195	222	228	278	221	222	242	244	239

Wagon			1. Hollow Wagon			Hollow		
Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah	Atas	Tengah	Bawah
193	218	231	254	248	234	244	248	247
195	229	229	225	245	260	249	247	249
195	214	227	255	240	213	248	247	236
199	203	207	254	239	240	224	199	194
191	190	242	232	235	213	203	199	196
180	225	240	236	260	234	196	206	197
173	219	205	233	245	229	197	200	206
192	193	204	227	225	212	201	209	202
202	207	229	255	241	248	212	200	198
225	206	216	259	238	246	203	200	218
221	205	203	236	234	218	198	200	225
218	230	206	219	256	226	198	199	222
210	197	230	239	232	222	198	238	205

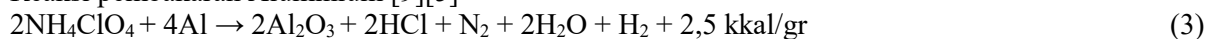
Uji Homogen. Dari data hasil pengujian nilai gelap-terang film X-ray dapat dibedakan untuk mengetahui apakah ada perbedaan dari bagian atas, tengah, dan bawah. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata gelap terang (tidak homogen) antara atas (A), tengah (T), dan bawah (B) untuk *grain Wagon*, *grain hollow Wagon*, sedangkan untuk *grain hollow* tidak ada perbedaan (homogen). Artinya diantara *grain hollow*, *grain hollow Wagon*, dan *grain Wagon*, hanya *grain hollow* yang homogen. Propelan yang homogen diartikan bahwa bagian atas, tengah, dan bawah memiliki persebaran/distribusi komponen material penyusun propelan yang sama. Jika nilai gelap-terang diantara 3 *grain* tersebut diuji perbedaannya, maka bisa disimpulkan ada-tidaknya perbedaan diantara 3 *grain* tersebut. Jika ternyata ada perbedaan, maka bisa dipastikan ketiga *grain* tersebut memiliki nilai Impuls spesifik yang berbeda. Toleransi nilai Isp propelan yang dianggap tidak berbeda adalah sebesar 5 detik [5].

Komparasi. Uji komparasi dilakukan dengan cara membandingkan dengan propelan lain yang memiliki nilai Impuls spesifik. Perbandingan ini dimaksudkan untuk mendapat nilai-nilai yang bisa digunakan untuk mengukur kinerja propelan 320mm. Perbandingan dilakukan pada komposisi yang sama atau pada komposisi yang mirip komposisinya terutama kandungan Aluminium. Kandungan propelan tidak hanya Aluminium, namun Aluminium dianggap sangat penting karena energi yang dibebaskan sangat besar relatif dibanding dengan komponen lainnya saat terjadi pembakaran. Propelan ini bisa dibandingkan dengan propelan Rhan yang memiliki komposisi *Binder* 15%, oksidator amonium perklorat 77,5%, Aluminium 7,5%. Kedua propelan ini memiliki kandungan Aluminium yang sama, yang mana Aluminium merupakan penyumbang energi terbesar dibanding komponen lain seperti *Binder* yang merupakan gabungan dari *Toluen Diisosiyanat* dan *Hydroxyl Terminated Polybutadiene*. *Hydroxyl Terminated Polybutadiene*, dan *Toluen Diisosiyanat* merupakan senyawa organik yang dalam pembakarannya malah menurunkan nilai Impuls spesifik karena mengurangi kebutuhan oksigen bagi pembakaran Aluminium. Penurunan ini sangat logis karena kuantitas oksidator amonium perklorat yang sama jika dipakai untuk pembakaran *Binder* akan menghasilkan energi yang lebih sedikit daripada dipakai untuk pembakaran Aluminium sebagaimana terlihat pada energi yang dibebaskan dalam persamaan reaksi (2) dan persamaan reaksi (3) di bawah ini.

Reaksi pembakaran *Binder* polibutadiene [9][5]



Reaksi pembakaran Aluminium [9][5]



Propelan Rhan memiliki Isp 190 detik. Karena kedua propelan memiliki kandungan Aluminium yang sama maka bisa dipastikan bahwa propelan 320 pun memiliki Isp yang sama pula yaitu 190 detik.

Prediktif. Secara prediksi, kinerja propelan 320mm bisa diukur kinerjanya melalui perbandingan dengan propelan dengan ukuran lebih kecil yaitu K-Round. Dengan melihat hasil kinerja propelan K-Round pada komposisi yang mirip atau sama maka kinerja propelan 320mm diperkirakan akan relatif sama. Hasil uji statik propelan K-round dengan kandungan Aluminium 8% Binder 11%, DOA 4%, dan oksidator amonium perklorat 77% memiliki Isp 206 detik. Sutrisno dalam laporan penelitiannya mengatakan bahwa penurunan Isp akibat adanya DOA sebesar 3% [10]. Jadi propelan K-round ini jika tidak ada DOA akan meningkat sebesar 3% yaitu 212 detik. Dari sini bisa disimpulkan bahwa propelan 320 bisa memiliki Isp sebesar 212 detik pula berdasar dari data hasil uji propelan K-Round. Berdasarkan hasil uji statik propelan K-Round bisa juga disimpulkan sesungguhnya Nilai Isp propelan Rhan adalah 212 detik bukan 190 sebagaimana disajikan dalam TOT dengan Avibras [11]. Hasil perhitungan Avibras pun tidak jauh dan lebih kecil dari 190 detik, yaitu 189,77 detik. Avibras menghitung ulang nilai Isp yang semula 189,77 menjadi 196,56 detik. Dalam perubahan Isp dari 189,77 detik menjadi 196,56 detik penulis menduga bahwa pada awalnya Avibras belum memasukkan komponen Avi-X (dalam hemat penulis adalah *eksplosive Avibras*, yang mana nama senyawanya merupakan rahasia mereka). Avibras dalam upaya menaikkan Isp dari 196,56 detik menjadi 229,65 detik selain diduga memasukkan Avi-X juga memodifikasi bentuk *grain* dari bintang 7 menjadi bintang 5.

Upaya Penyempurnaan. Dari hasil uji statik propelan K-round yang menghasilkan Isp 206 detik yang mana jika tanpa DOA diduga sebesar 212 detik, maka dalam makalah ini diusulkan upaya peningkatan nilai Isp dengan penambahan bahan misalnya besi oksida (Fe_2O_3). Selama ini propelan LAPAN hanya dibuat sebatas menggunakan bahan dasar yaitu *Hydroxyl Terminated Polybutadiene*, *Toluen Diisosiyanat*, oksidator amonium perklorat dan Aluminium. Bahan seperti besi oksida akan menaikkan gaya dorong yang mengakibatkan naiknya Isp tanpa merubah komposisi yang ada. Besar bahan besi oksida yang ditambahkan dalam jumlah sedikit.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan yang diuraikan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Propelan 320 *double grain* yaitu *hollow*, *Wagon*, dan *hollow-Wagon* dalam uji homogen berdasar data gelap-terang film X-ray disimpulkan bahwa hanya *hollow grain* yang homogen, sedangkan kedua *grain* yaitu *Wagon Wheel* dan *Wagon-Hollow* tidak homogen.
- Propelan 320 berdasar data uji propelan K-round memiliki Isp prediktif 212 detik, dan dalam upaya menaikkan nilai Isp diusulkan dengan penambahan bahan besi oksida dalam jumlah sedikit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Kapustekroket, Kabid progfas dalam menyediakan fasilitas, serta GL propelan yang telah membantu terwujudnya makalah ini serta para teknisi litkayasa yang telah berpartisipasi dalam kegiatan litbangyasa. Semoga jerih payah mereka tidak sia-sia dan berguna bagi pengembangan roket berikutnya.

PERNYATAAN PENULIS

Dengan ini menyatakan bahwa isi makalah adalah tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Zohari; H.K. Mohammad; S.A. Seyedsadjadi, 2013. "The Advantages and Shortcomings of using Nano-sized Energetic Materials", Central European Journal of Energetic Materials 10(1), 135-147
- [2] T. Kitinirunkul, Nattawat W., and K. Prapunkan, 2013. "Effecting Factor of The Mechanical Properties Phenolic/ Fiber Composite" International journal of Chemical Materials Science and

Engineering vol. 7, no. 10. Mohamed, A.; Mugamed F.; Gholamian; and A. R. Zarei, 2013. *Performance Analysis of Composite Propellant Based on HTPB– DNCB*, Journal of Propulsion and Power vo.l 30, no. 2.

[3] U.R.Nair; S.N. Asthana; A. Subhananda; and B.R. Gandhe, 2010. “Advances in High Energy Materials”, Defense Science Journal v 60 no 2, 137-151.

[4] K. Ramesh; N. Shekhar; S.S. Jawalkar; and M. Bikash Bhattacharya, 2012. “Development of a Composite Propellant Formulation with a High *Performance* Index Using a Pressure *Casting* Technique”, Central European Journal of Energetic Materials, 9(1), 4958.

[5] K. Hartaya, 2016, “Analisis Kandungan Aluminium *Powder* Propelan Berdasar Energi Pembakaran dari Bomb Kalorimeter”, Jurnal Teknologi Dirgantara Vol. 14 No.1.

[6] L. Türker, 2013, “A Treatise on Impulse Values of Pure Explosives”, Jo. Theoretical and Computational Science.

[7] G.P.Sutton and O. Biblarz, 2001, *Rocket Propulsion Elements*, edisi 7, John Wiley & sons.

[8] K.Hartaya, dkk, (terdaftar April 2017), PATEN, Uji homogenitas tak merusak produk propelan dengan metode statistik uji beda nilai gelap-terang film berkas X-ray.

[9] Martin, et al, 2003. “Variable Burn Rate Propellant”, US Patent No. 6, 503. 350 B2.

[10] Sutrisno, 2010, “Upaya Peningkatan Specific Impulse (Isp) Propelan HTPB” (Laporan Akhir Penelitian Riset Insentif Dikti).

[11] Avibras-LAPAN, 2016, slide Transfer of Technology.

LAMPIRAN Slide ToT Avibras-LAPAN

R-Han 122 LAPAN Formulation				R-Han 122 AVIBRAS Formulation			
REAGENTES		% MASSA		REAGENTES		% MASSA	
Al(S)		7.50		Al(S)		7.50	
C7.075H10.6470.223N.063(S)		15.00		C7.075H10.6470.223N.063(S)		16.00	
Fe2O3(S)		0.00		Fe2O3(S)		0.00	
NH4ClO4(S)		77.50		NH4ClO4(S)		76.50	
PRESSAO DE CAMARA (atm) = 39.470				PRESSAO DE CAMARA (atm) = 39.470			
	Chamber	Throat	Exit		Chamber	Throat	Exit
Pc/P	1.00	1.78	32.26	Pc/P	1.00	1.78	32.40
P (atm)	39.470	22.178	1.188	P (atm)	39.470	22.147	1.175
T (K)	3058.92	2766.06	1623.71	T (K)	2981.28	2690.84	1562.17
Dens (kg/m3)	4.806	2.500	.229	Dens (kg/m3)	4.852	2.519	.230
U.Esp.(m3/kg)	.248	.399	4.372	U.Esp.(m3/kg)	.247	.397	4.343
H (cal/g)	-487.0	-616.9	-1104.6	H (cal/g)	-482.3	-611.9	-1095.9
S (cal/(g.K))	2.419	2.419	2.419	S (cal/(g.K))	2.436	2.436	2.436
Peso Mol.	22.117	22.117	22.117	Peso Mol.	21.630	21.630	21.630
Ae/Ag	1.000	5.028	1.000	Ae/Ag	1.000	5.028	1.000
U (m/s)	0.00	1042.57	2273.34	U (m/s)	0.00	1041.30	2265.87
U.son (m/s)	1095.13	1042.58	895.76	U.son (m/s)	1094.72	1041.30	898.73
N. Mach	0.000	1.000	2.821	N. Mach	0.000	1.000	2.830
(D1U/D1P)t	-1.000	-1.000	-1.000	(D1U/D1P)t	-1.000	-1.000	-1.000
(D1U/D1P)p	1.000	1.000	1.000	(D1U/D1P)p	1.000	1.000	1.000
(D1P/D1T)s	-174	-176	-190	(D1P/D1T)s	-176	-178	-193
Cp (cal/(g.K))	.446	.441	.408	Cp (cal/(g.K))	.440	.444	.409
Cv (cal/(g.K))	.368	.364	.331	Cv (cal/(g.K))	.369	.364	.330
Gamma	1.210	1.213	1.234	Gamma	1.214	1.217	1.240
Gamma_s	1.210	1.213	1.234	Gamma_s	1.214	1.217	1.240
CF		.68	1.49	CF		.68	1.49
Cestr (m/s)		1529.69	1529.69	Cestr (m/s)		1524.74	1524.74
Isp (s)		190.30	236.95	Isp (s)		189.77	235.93
Iuac (s)		193.97	255.43	Iuac (s)		193.44	254.35

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA UMUM

Nama Lengkap : Kendra Hartaya
Tempat & Tgl. Lahir : Bantul, 5 Mei 1965
Jenis Kelamin : Pria
Instansi Pekerjaan : Pusat Teknologi Roket, Lapan
Nip. / Nim. : 19650505 199203 1 009



DATA PENDIDIKAN

SLTA : STMA YOGYAKARTA Tahun: 1984
STRATA 1 (S.1) : KIMIA FMIPA UGM YK Tahun: 1991
STRATA 2 (S.2) : ILMU BAHAN UI JKT Tahun: 1997
STRATA 3 (S.3) : TP UNJ JKT Tahun: 2005

ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Pustekroket Mekarsari Rumpin Bogor
Telp. : 021-70895998
Email : kendra19838@yahoo.co.id