

PENINJAUAN HOMOGENITAS PROPELAN SKALA K-ROUND BERDASARKAN VARIANS NILAI KALOR (HOMOGENEITY OBSERVATION OF PROPELLANT K-ROUND SCALE BASED ON CALORIFIC VALUE VARIANCE)

Luthfia Hajar Abdillah, Retno Ardianingsih
Peneliti Bidang Teknologi Propelan, Pusat Teknologi Roket, Lapan
e-mail : lu_haab@yahoo.com, re_ardian@yahoo.com

ABSTRACT

Specific Impulse (Isp) of propellant K-round scale produced by Lapan is still relatively low, less than 220 seconds. Beside this, the Isp of the two propellants with the same composition are often different. This differences can be estimated that two propellants are not homogeneous and can cause measurement errors in mechanical, ballistic and static testing so that the resulting data becomes invalid. So, it is important to know the homogeneity of propellant. Propellant homogeneity tested by statistics calculation through uniformity of variance of the calorific value data by F test and Bartlett test methods. Based on the test, it is found that the propellants have various calorific value in the range of 2014 to 5829 cal/gram. The variance of calorific value of one rod propellant is not uniform. It means that propellant K-Round scale product is not homogeneous. While the calorific value variance of propellants in both the same and different batches are uniform. This indicates that the difference degree of calorific value in that two kinds of batches are consistent, it means inequities material distribution of each batch K-Round propellant production also consistent.

Keywords: *Propellant K-round, Homogeneity, Calorific value, F test and Bartlett test, Variance*

ABSTRAK

Impuls spesifik (Isp) propelan skala *K-round* yang dihasilkan Lapan masih tergolong rendah yaitu di bawah 220 detik. Selain itu dari dua propelan dengan komposisi sama sering diperoleh nilai Isp yang berbeda. Terjadinya perbedaan nilai Isp ini diperkirakan bahwa kedua propelan tersebut tidak homogen yang dapat menyebabkan kesalahan ukur dalam pengujian mekanik, balistik maupun pengujian statik sehingga data yang dihasilkan menjadi tidak valid. Oleh karena itu homogenitas propelan penting untuk diketahui. Homogenitas propelan diuji dengan cara perhitungan statistik melalui keseragaman varians data nilai kalor menggunakan metode uji F dan uji Bartlett. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa nilai kalor sangat beragam dari 2015 kal/gram hingga 5829 kal/gram. Varians nilai kalor pada satu batang propelan dinyatakan tidak seragam yang berarti produk propelan skala *K-Round* yang dihasilkan tidak homogen. Adapun varians nilai kalor propelan pada *batch* yang sama dan pada *batch* yang berbeda dinyatakan seragam. Hal ini menunjukkan derajat perbedaan nilai kalor pada kedua macam *batch* tersebut konsisten yang berarti ketidak merataan distribusi bahan pada setiap *batch* produksi propelan *K-Round* juga konsisten.

Kata kunci: *Propelan K-round, Homogenitas, Nilai kalor, Uji F dan uji Bartlett, Varians*

1 PENDAHULUAN

Propelan merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam peroketan, karena fungsinya sebagai bahan bakar. Propelan yang sedang dikembangkan Lapan adalah propelan padat komposit yang bahan penyusunnya terdiri dari oksidator, *fuel*, *binder* dan aditif.

Salah satu cara pengukuran kinerja motor roket adalah melalui pengujian statik yang menghasilkan nilai Impuls Spesifik (Isp). Ada dua cara untuk meningkatkan Isp yaitu melalui peningkatan nilai pelepasan panas dan peningkatan efektifitas termal dengan meningkatnya fraksi gas ringan pada produk pembakaran (Lempert, *et al.* 2011). Semakin besar nilai Isp maka motor roket tersebut semakin efisien. Di Bidang Teknologi Propelan-Pusat Teknologi Roket-Lapan, penelitian pembuatan propelan telah dilakukan untuk meningkatkan nilai Isp. Penelitian tersebut dilakukan melalui uji hasil formulasi di Lab. Komposisi Dasar menghasilkan propelan skala *K-Round* dengan dimensi berupa diameter dalam, diameter luar dan panjang berturut-turut sebesar 26 mm, 59 mm dan 200 mm. Berdasarkan hasil kegiatan di laboratorium tersebut, Isp propelan yang dihasilkan masih berkisar di bawah 220 detik (Tim Penelitian Komposisi Dasar, 2013).

Selain masih rendahnya Isp, masalah lain yang perlu mendapat perhatian adalah tingkat homogenitas propelan yang dihasilkan. Propelan yang homogen yaitu propelan yang bahan-bahan penyusunnya telah tercampur sempurna dalam satu *slurry*. Homogenitas propelan ditandai dengan keseragaman nilai karakteristik pada setiap titik. Salah satu karakteristik yang bisa digunakan untuk menguji homogenitas propelan adalah nilai kalor.

Dalam satu *batch* proses pembuatan propelan menghasilkan dua propelan *hollow* yang keduanya akan dirakit ke dalam motor roket untuk diuji

statik. Proses perakitan untuk tiap-tiap propelan menggunakan bahan-bahan dan metode yang sama, sehingga dapat diasumsikan sebagai faktor yang konstan dan diharapkan hasil uji kinerjanya juga akan sama. Pada kenyataannya sering sekali dari dua propelan *hollow* dengan komposisi sama tersebut hasil uji statiknya diperoleh nilai Isp yang berbeda (Tim Penelitian Komposisi Dasar, 2013). Perbedaan nilai Isp ini diharapkan tidak ada atau sekecil-kecilnya. Perbedaan hasil uji Isp yang terlalu tinggi akan membuat kerancuan hasil pengujian sehingga menyebabkan kekeliruan dalam analisis.

Terjadinya perbedaan nilai Isp ini, dapat diperkirakan bahwa kedua propelan *hollow* tersebut tidak homogen. Propelan yang tidak homogen dapat menyebabkan kesalahan ukur dalam pengujian mekanik, balistik maupun pengujian statik sehingga data yang dihasilkan menjadi tidak valid. Oleh karena itu homogenitas propelan penting untuk diketahui. Pada tulisan ini akan dibahas mengenai tingkat homogenitas propelan skala *K-Round*. Selain itu juga akan dianalisis faktor-faktor yang mempengaruhi homogenitas produk pada pembuatan propelan tersebut.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Propelan padat komposit tersusun dari oksidator, *fuel binder*, *curing agent*, dan aditif. Komponen-komponen tersebut dicampur pada komposisi tertentu untuk mendapatkan *slurry* propelan yang selanjutnya dicetak sesuai bentuk yang dikehendaki. Suatu propelan dikehendaki memiliki energi yang tinggi (energetik). Sifat energetik suatu bahan dapat diketahui dengan berbagai cara. Berikut beberapa metode yang telah dilaporkan untuk perhitungan sifat energetik suatu bahan, diantaranya (Jawale, *et al.* 2013):

- Kecepatan detonasi (*Velocity of Detonation* – VOD) dan efek ledakan dalam hal *high explosive*.
- Impuls spesifik (Isp) dalam hal propelan.

- Suhu *flame*/panas yang dihasilkan setelah pembakaran (piroteknik).
- Nilai kalor (*calorimetric value/cal-val*) dalam hal *solid/liquid fuel* termasuk propelan.

Bagaimanapun metode-metode ini memerlukan sampel dalam jumlah banyak dan tidak praktis, sedangkan metode *calorimetric value (cal-val)* sederhana, cepat dan akurat. Oleh karena itu metode ini merupakan pilihan yang tepat untuk menentukan sifat energetik dari propelan, bahan eksplosif dan piroteknik (Jawale, *et al.* 2013).

2.1 Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan jumlah energi yang dilepaskan bahan bakar saat terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut (Napitupulu, 2006). Pengukuran nilai kalor menggunakan *bomb calorimeter* dapat dilakukan dengan beberapa jenis gas, diantaranya *Ultra High Pure (UHP)* oksigen, UHP nitrogen, industrial nitrogen, udara dan UHP argon pada tekanan 30 atm. Besaran nilai kalor yang diperoleh sekitar 1000-2000 cal/g kecuali pada penggunaan gas oksigen yang memiliki besaran nilai kalor ±3000 cal/g (Jawale, *et al.* 2013).

Penentuan nilai kalor propelan dilakukan dengan cara membandingkan nilai kalor dari beberapa jenis propelan komposit diantaranya berbasis *polystyrene*, *polyphenolformaldehyde*,

polyvinyl chloride, dan CTPB. Sebagai bahan pembanding dilakukan pengukuran nilai kalor asam benzoat. Diperoleh hasil bahwa nilai kalor propelan memiliki rata-rata error sebesar 0,5% sedangkan asam benzoat hanya 0,09%. Hal ini dikarenakan sifat komposit dari sampel propelan dan tergantung dari seberapa homogen pencampuran yang bisa dicapai (Kishore, *et al.* 1982).

Propelan yang homogen akan memiliki kandungan bahan yang sama di setiap titiknya sehingga ketika dibakar akan menghasilkan nilai kalor yang tidak jauh berbeda (relatif seragam). Keadaan homogen tersebut dapat diketahui dengan cara statistik melalui perhitungan keseragaman varians data nilai kalor dengan metode uji F dan uji Bartlett.

2.2 Metode Uji Bartlett dan Uji F

Data-data dari populasi yang telah diambil sampelnya akan memiliki nilai varians yang beragam. Varians untuk sekumpulan data ini melukiskan derajat perbedaan atau variasi nilai data individu yang ada dalam kelompok atau kumpulan data tersebut. Untuk pengujian keseragaman varians dari dua atau lebih populasi yang berdistribusi normal dapat menggunakan metode uji Bartlett dan uji F (Sudjana, 1996) dengan langkah sebagaimana tercantum dalam Tabel 2-1.

Tabel 2-1: LANGKAH-LANGKAH PENGUJIAN METODE UJI BARTLETT DAN UJI F

Metode uji Bartlett	Metode Uji F
1. Menghitung varians gabungan dari semua sampel $s^2 = \frac{\sum (n_i - 1) s_i^2}{\sum (n - 1)} \quad (2-1)$	1. Menghitung varians tiap kelompok data $s^2 = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (2-4)$
s^2 = varians gabungan \sum = penjumlahan semua sel n = banyaknya sampel n_i = nilai sampel ke-i	s^2 = varians gabungan x_i = nilai sampel ke-i \bar{x} = rata-rata nilai sampel n = banyaknya sampel

<p>2.Menghitung dengan harga satuan B</p> $B = (\log s^2) \sum (n_i - 1) \quad (2-2)$ <p>B = nilai Bartlett</p>	<p>2.Menentukan nilai F_{hitung}</p> $F_{hitung} = \frac{\text{varians terbesar}}{\text{varians terkecil}} \quad (2-5)$ <p>F = nilai homogenitas varian</p>
<p>3.Menghitung chi kuadrat</p> $\chi^2 = (\ln 10) \left\{ B - \sum (n_i - 1) \log s_i^2 \right\} \quad (2-3)$ <p>s_i = varians data untuk setiap kelompok i χ = harga chi</p>	<p>3.Membandingkan nilai F_{hitung} dan F_{tabel}</p>
<p>Dengan taraf nyata α, hipotesis H_0 ditolak jika $\chi^2 \geq \chi^2_{(1-\alpha)(k-1)}$, dimana $\chi^2_{(1-\alpha)(k-1)}$ didapat dari daftar distribusi chi kuadrat dengan peluang $(1-\alpha)$ dan db = $(k-1)$. (Sudjana, 1996). α = tingkat signifikansi/taraf kesalahan / taraf nyata H_0 = hipotesis nol, yaitu hipotesis yang berbunyi “sama dengan” atau “tidak ada perbedaan” diantara hal yang dibandingkan k = banyaknya kelompok data db = derajat kebebasan atau bisa juga ditulis dk</p>	<p>Dengan taraf nyata α, hipotesis H_0 ditolak jika nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Nilai F_{tabel} didapat dari daftar distribusi F dengan $dk_1 = dk_{pembilang} = n_a - 1$, dan $dk_2 = dk_{penyebut} = n_b - 1$. (Sugiyono, 2010). dk = derajat kebebasan n_a = banyaknya sampel kelompok data ke-1 n_b = banyaknya sampel kelompok data ke-2</p>

Jika harga F hitung lebih kecil daripada harga F tabel dan χ^2 hitung lebih kecil daripada χ^2 tabel pada tingkat kesalahan (α) tertentu, maka dikatakan bahwa hipotesis H_0 diterima, berarti nilai kalor berasal dari populasi yang seragam. Dengan kata lain varians nilai kalor pada batang propelan tersebut seragam. (Sugiyono, 2010).

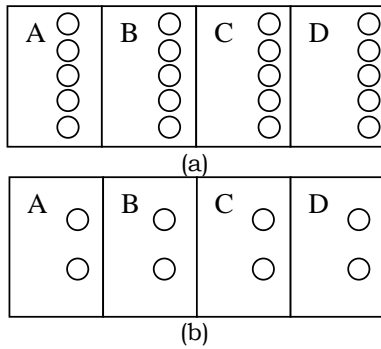
3 METODE PENELITIAN

Pembuatan propelan dilakukan di Lab. Komposisi Dasar Bidang Teknologi Propelan-Lapan menggunakan satu set peralatan yang berupa: *mixer* tipe *horizontal* kapasitas 3 liter, *vacuum casting*, alat *coring-decoring* serta oven untuk *curing*. Dalam satu *batch* dihasilkan tiga batang propelan terdiri dari dua propelan *hollow* dan satu propelan pejal.

Penentuan homogenitas propelan *K-Round* hanya ditinjau dari varians nilai kalornya. Pengukuran nilai kalor dilakukan di Lab. Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT)-UGM,

Yogyakarta menggunakan *bomb calorimeter* Gallenkamp *autobomb* tipe CBA.305.010M pada tekanan 20-30 bar dengan sistem adiabatik dan menggunakan gas oksigen.

Untuk pengujian homogenitas, tiap batang propelan dipotong menjadi empat segmen (A,B,C,D) dari atas ke bawah. Tiap segmen diambil beberapa sampel dengan berat masing-masing ± 20 gram untuk dikirim ke tempat pengujian. Dari tiap sampel diambil sekitar 1,5-2 gram untuk diuji. Total pengujian nilai kalor dilakukan sebanyak 60 kali. Selanjutnya data hasil pengujian diolah secara statistik dengan uji F dan uji Bartlett. Pembagian sampel propelan ditampilkan dalam Gambar 3-1 dimana tanda lingkaran kecil adalah bagian sampel yang diambil. Propelan yang diuji memiliki komposisi yang berbeda kecuali propelan yang berasal dari *batch* yang sama. Analisis penyebab ketidak homogenan propelan dilakukan melalui peninjauan peralatan yang digunakan dalam pembuatan propelan.



Gambar 3-1: (a) Pembagian sampel pada satu batang propelan, (b) Pembagian sampel pada *batch* proses yang sama dan pada *batch* proses yang berbeda

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data nilai kalor dari propelan yang diuji dapat dilihat pada Tabel 4-1, Tabel 4-2, dan Tabel 4-3.

Tabel 4-1: NILAI KALOR PROPELAN PADA SATU BATANG PROPELAN (4 SEGMENT)

No	Nilai Kalor (kal/g)			
	A	B	C	D
1	3,443.719	4,750.905	4,475.808	2,854.604
2	3,015.921	4,032.927	5,592.890	3,267.981
3	3,470.771	4,386.974	5,829.611	3,290.123
4	3,941.402	5,256.121	5,169.301	2,932.816
5	4,212.903	5,193.204	3,439.307	3,071.210

Tabel 4-2: NILAI KALOR PROPELAN DUA BATANG PROPELAN DALAM SATU BATCH

No	Nilai Kalor (kal/g)	
	FB3	FB2
1	3,245.994	3,773.097
2	3,054.083	3,682.386
3	4,122.214	4,448.142
4	4,383.241	4,077.383
5	4,325.227	4,572.351
6	3,810.637	4,435.008
7	3,397.744	3,705.393
8	3,054.181	3,403.654

Tabel 4-3: NILAI KALOR PROPELAN TIGA BATANG PROPELAN PADA BATCH BERBEDA

No	Nilai Kalor (kal/g)		
	FA	PS10	PS11
1	3,117.474	2,362.158	3,546.399
2	3,371.024	2,104.938	3,681.689
3	4,017.772	2,571.476	3,952.646
4	3,530.060	3,182.315	4,086.563
5	4,677.099	2,844.735	4,581.376
6	4,237.622	2,634.557	3,667.882
7	3,866.344	3,012.660	2,792.945
8	3,006.889	3,438.679	2,760.984

Tabel 4-1 hingga Tabel 4-3 memperlihatkan bahwa nilai kalor propelan sangat beragam sebesar 2015 - 5829 kal/gram. Hasil uji nilai F dan nilai χ^2 dari data nilai kalor propelan dapat dilihat pada Tabel 4-4, Tabel 4-5 dan Tabel 4-6. Kedua metode pengujian menggunakan asumsi H_0 : nilai kalor berasal dari populasi yang seragam.

Nilai F tabel dan χ^2 tabel didapat dari Tabel distribusi F dan Tabel distribusi χ^2 pada referensi. (Sudjana, 1996). Hasil uji pada satu batang propelan cenderung terjadi penolakan H_0 berarti nilai kalor berasal dari

populasi yang tidak seragam (varians nya tidak seragam). Dengan kata lain, produk satu batang propelan tidak homogen. Rangkuman hasil perhitungan tingkat keseragaman varians nilai kalor propelan disajikan pada Tabel 4-7.

Pada proses *mixing* belum dapat diketahui apakah bahan-bahan sudah teraduk dengan sempurna. Hal ini dapat menjadikan hasil propelan yang tidak homogen yaitu bahan-bahan yang dicampur dalam *mixer* tidak tercampur secara merata, sehingga ada pengumpulan suatu bahan pada titik tertentu di dalam *slurry* propelan.

Tabel 4-4: HASIL UJI PADA SATU BATANG PROPELAN

Metode uji Bartlett				Metode uji F			
χ^2 hitung	8,533			F hitung	24,55		
χ^2 tabel	$\alpha=0,05$	7,81	H_0 ditolak	F tabel	$\alpha=0,05$	5,39	H_0 ditolak
	$\alpha=0,01$	11,3	H_0 diterima		$\alpha=0,01$	15,93	H_0 ditolak

Tabel 4-5: HASIL UJI PADA BATCH PROSES YANG SAMA

Metode uji Bartlett				Metode uji F			
χ^2 hitung	0,435			F hitung	1,7		
χ^2 tabel	$\alpha=0,05$	3,84	H_0 diterima	F tabel	$\alpha=0,05$	3,79	H_0 diterima
	$\alpha=0,01$	6,63	H_0 diterima		$\alpha=0,01$	7,00	H_0 diterima

Tabel 4-6: HASIL UJI PADA BATCH PROSES YANG BERBEDA

Metode uji Bartlett				Metode uji F			
χ^2 hitung	0,862			F hitung	2,0		
χ^2 tabel	$\alpha=0,05$	5,99	H_0 diterima	F tabel	$\alpha=0,05$	3,79	H_0 diterima
	$\alpha=0,01$	9,21	H_0 diterima		$\alpha=0,01$	7,00	H_0 diterima

Tabel 4-7: HASIL KESERAGAMAN VARIANS NILAI KALOR PRODUK PROPELAN K-ROUND

No.	Metode Pengujian	Nilai α	Satu batang	Pada <i>Batch</i> yang Sama	Pada <i>Batch</i> yang Berbeda
1.	Uji F	$\alpha=0,05$	Tidak Seragam	Seragam	Seragam
		$\alpha=0,01$	Tidak Seragam	Seragam	Seragam
2.	Uji Bartlett	$\alpha=0,05$	Tidak Seragam	Seragam	Seragam
		$\alpha=0,01$	Seragam	Seragam	Seragam

Dari Tabel 4-7 tersebut dapat dilihat bahwa varians nilai kalor pada satu batang propelan cenderung dinyatakan tidak seragam. Artinya nilai kalor berbeda antara satu bagian dengan bagian yang lain dari satu batang propelan. Nilai kalor produk propelan pada *batch* yang sama mempunyai varians yang seragam. Keadaan ini juga terjadi pada tiga batang propelan pada *batch* yang berbeda. Berarti distribusi bahan pada propelan setiap kali *batch* proses konsisten. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa proses pembuatan propelan *K-Round* yang dilakukan sudah *reproducible* karena dapat menghasilkan produk yang selalu konsisten. Namun demikian dalam satu produk propelan *K-Round* yang dihasilkan belum bisa dikatakan bagus karena distribusi bahan tidak merata di sepanjang segmennya.

Penyebab distribusi bahan tidak merata adalah model *mixer* yang digunakan. Pada proses pembuatan propelan *K-Round* ini menggunakan *mixer horizontal* tipe *Z blade*. Adapun *mixer* yang digunakan untuk pembuatan propelan pada umumnya adalah vertikal tipe *planetary* (Baker Perkins, 2014). Perbandingan kedua *mixer* tersebut seperti diperlihatkan pada Gambar 4-1.



(a)



(b)

Gambar 4-1: *Mixer* : (a) *horizontal z blade* (b) *vertical planetary blade*

Mixer horizontal Z blade yang digunakan pada produksi propelan *K-Round* merupakan hasil rekayasa Lapan yang mungkin tidak sempurna sehingga akan berpengaruh pada hasil pengadukan. Beberapa perbedaan kedua *mixer* ini akan sangat mungkin mempengaruhi homogenitas produk propelan. Rotasi *blade* pada *mixer* Gambar 4-1(a) berlangsung satu arah yang memungkinkan pencampuran bahan menjadi tidak merata. Selain itu bentuk *Z blade* membuat bahan di bagian tengah *blade* hanya sedikit terkena proses pengadukan. *Mixer* ini memiliki *clearance* yang terlalu besar yaitu sekitar 5 mm sehingga terdapat area yang tidak terkena adukan *blade*. Sedangkan pada *mixer* tipe *planetary* seperti terlihat pada Gambar 4-1(b) memiliki *clearance* yang sangat kecil kurang dari 3 mm sehingga seluruh area di dalam *mixer* dapat terkena adukan. Selain itu terdapat dua *blade* pada *mixer* tipe ini yang masing-masing berotasi pada porosnya dan juga berotasi di seluruh area dalam *mixer* sehingga aliran *slurry* bisa lebih bergolak. Rotasi kedua *blade* tersebut juga berlangsung dua arah (searah dan berlawanan arah jarum jam) sehingga besar kemungkinan *slurry* propelan akan teraduk sempurna dan distribusi bahan akan merata di setiap titik. Oleh karena itu sangat wajar bahwa propelan *K-Round* yang dibuat menggunakan *mixer horizontal Z blade* mempunyai homogenitas yang masih rendah.

5 KESIMPULAN

Nilai kalor propelan *K-Round* sangat beragam dari 2015 kal/gram hingga 5829 kal/gram. Varians nilai kalor pada satu batang propelan dinyatakan tidak seragam yang berarti produk propelan skala *K-Round* yang dihasilkan tidak homogen. Sedangkan varians nilai kalor propelan pada *batch* yang sama dan pada *batch* yang berbeda dinyatakan seragam. Hal ini menunjukkan derajat perbedaan nilai

kalor pada kedua macam *batch* tersebut konsisten yang berarti ketidak merataan distribusi bahan pada setiap batch produksi propelan *K-Round* juga konsisten. Ketidak homogenan produk propelan *K-Round* disebabkan akibat penggunaan jenis *mixer horizontal Z blade* yang tidak mampu mencampur bahan dengan sempurna.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Drs. Sutrisno, M.Si yang telah membimbing dalam penulisan makalah ini. Juga kepada Drs. Kendra Hartaya, M.Si yang telah membantu ide-ide, saran dan memotivasi penulis. Kepada Ir. Siti Prangili yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini. Kepada LPPT-UGM yang telah membantu dalam pengujian nilai kalor. Kepada Kemenristek yang telah menyediakan pembiayaan melalui program riset insentif SINas tahun 2013 serta pihak-pihak terkait yang turut dalam terlaksananya kegiatan penelitian ini

DAFTAR RUJUKAN

"Baker Perkins In The Chemical Machinery Business", <http://www.bphs.net/HistoryOfKeyBusinesses/Chemical1/>; download 8 Mei 2014.
Jawale, Lalita S; Dey, Chandrani; Mehilal; Gupta, Manoj; Bhattacharya, B.,

2013. *Effect of Experiment Environment on Calorimetric Value of Composite Solid Propellants*, Defence Science Journal, Vol.63, No.5, pp. 467-472. DESIDOC.

Kishore, K; Verneker, V.R. Pai; Begum, A. Sameena, 1982. *Calorimetric Values of Composite Solid Propellants*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

Lempert, David; Nechiporenko, Geli; Manelis, George, 2011. *Energetic Performances of Solid Composite Propellant*, Central European Journal of Energetic Materials, 8(1), 25-38 ISSN 1733-7178. Rusia.

Napitupulu, Farel H., 2006. *Pengaruh Nilai Kalor (Heating Value) Suatu Bahan Bakar Terhadap Perencanaan Volume Ruang Bakar Ketel Uap Berdasarkan Metode Penentuan Nilai Kalor Bahan Bakar yang Dipergunakan*, Jurnal Sistem Teknik Industri Vol. 7, No. 1. Universitas Sumatera Utara.

Sudjana, 1996. *Metoda Statistika*, Bandung : Tarsito.

Sugiyono, 2010. *Statistika Untuk Penelitian*, Bandung : Alfabeta.

Tim Penelitian Komposisi Dasar, 2013. *Laporan Akhir Kegiatan Poklit Komposisi Dasar Bidang Propelan*, Pusat Teknologi Roket, Lapan.