

PENELITIAN POTENSI OKSIDA LOGAM Fe_2O_3 dan CuO UNTUK PENINGKATAN KECEPATAN PEMBAKARAN PROPELAN KOMPOSIT

Atwirman S.
Peneliti di Bidang Propelan, LAPAN

ABSTRACT

The modification on formulation and composition of the solid composite propellant by use of aluminum powder, Al in order to increase the burning rate has been done with the maximum incremental results from 0,51 (0% of Al) to 0,93 cm/sec (15% of Al). For more higher of the burning rate, the addition of metal oxides of ferric or cupric as catalysts or well known with the additives should be conducted. In this experiment, more significant increase of the burning rate i.e. up to 1,2975 and 1,0160 cm/sec by 2% and 5% of respectively its addition can be achieved. And its seem to be may considered as required burning rate of a propellant to fulfil the properties of internal ballistic criteria for solid composite propellants.

ABSTRAK

Modifikasi formulasi dan komposisi propelan padat komposit dengan menggunakan bubuk aluminium dalam rangka meningkatkan kecepatan pembakaran telah dilakukan dengan hasil maksimum peningkatan dari 0,51 (untuk 0%Al) menjadi 0,93 cm/det (untuk 15%Al). Guna menaikkan lagi kecepatan pembakaran penambahan katalis oksida logam besi atau tembaga yang dikenal sebagai aditif perlu dilakukan. Pada penelitian ini, kenaikan yang signifikan dari kecepatan pembakaran yaitu 1,2975 dan 1,0160cm/det dengan penambahan masing-masing oksida 2% dan 5% dapat diwujudkan. Dan, harga ini kelihatannya dapat dipertimbangkan sebagai kecepatan pembakaran yang dibutuhkan untuk memenuhi kriteria sifat internal balistik propelan padat komposit.

1 PENDAHULUAN

Penelitian dan pengembangan (R & D) propelan padat komposit yang merupakan bahan bakar motor roket saat ini, dilakukan di Laboratorium Komposisi Dasar Propelan, Tarogong-Rumpin. Kegiatan penelitian dan pengembangan tersebut dilakukan sebagai upaya meningkatkan kinerja propelan yang salah satu diantaranya adalah lewat peningkatan kecepatan pembakaran yang merupakan salah satu dari sifat internal balistik propelan yang penting.

Dengan kecepatan pembakaran yang tinggi berarti propelan tersebut memiliki enegetisitas dalam jangka waktu singkat, menghasilkan gas-gas dalam jumlah besar yang secara progresif dan dinamis berpotensi dalam menghasilkan

gaya dorong (*thrust*) pada suatu motor roket.

Kondisi tersebut di atas dapat diwujudkan melalui modifikasi formulasi dan komposisi dari bahan dasar padatan dan hal inilah yang menjadikan propelan komposit menarik untuk dikembangkan serta sangat memungkinkan untuk dilakukan pada propelan ini, sehingga propelan jenis ini lebih berkembang dibandingkan propelan padat lainnya.

Bahan padatan yang senantiasa ditambahkan adalah bubuk aluminium yang dikenal dengan fuel metalik yang bersifat mudah terbakar dan dapat menghasilkan energi tinggi. Sayangnya, pada proses pencampuran (*mixing*), bubuk aluminium cenderung teraglo-

merasi sehingga campuran menjadi tidak homogen. Di samping itu, di saat 'casting', dengan teknik yang biasa dilakukan, interaksi partikel aluminium dan oksidiser amonium perklorat (AP) cenderung pula menyebabkan partikel aluminium menjadi berpindah ke permukaan batang propelan. Bubuk aluminium berpotensi menghasilkan propelan yang rapuh (*brittle*). Dengan demikian bubuk aluminium yang ditambahkan hanya efektif jika dalam jumlah terbatas, berkisar 7~10% seperti ditunjukkan pada Tabel 1-1 dan 1-2 atau pada Gambar 1-1 dan Gambar 1-2.

Atas dasar pertimbangan-pertimbangan di atas maka alternatif untuk mendapatkan kecepatan pembakaran propelan yang lebih tinggi lagi, dilakukan penelitian dengan cara penambahan bahan aditif oksida logam Fe₂O₃ dan CuO. Sebagai oksida logam transisi, keduanya dinilai dapat meningkatkan kecepatan pembakaran asal ditambahkan dalam jumlah yang sedikit. Hal ini didasari pada pertimbangan titik leleh dari oksida logam yang tinggi (titik leleh Fe₂O₃ = 1560°C dan CuO = 1026°C), jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan Al (titik leleh = 600°C) sehingga dapat mengakibatkan terjadinya absorpsi panas yang besar bila ditambahkan secara berlebihan dan tentunya akan memberikan dampak yang bersifat kontra produktif.

2 TINJAUAN TEORI

Salah satu ciri dari propelan padat yang menonjol dan yang membedakannya dengan propelan jenis lain seperti propelan cair misalnya, ialah sifat pembakarannya yang berlangsung dalam jangka waktu yang singkat. Untuk itu, seperti telah disinggung sebelumnya, suatu propelan padat haruslah dapat menghasilkan energi setinggi-tingginya agar dapat memberikan gas-gas yang bersifat progresif dan dinamis yakni gas-gas berberat molekul rendah sebagai fluida untuk memberikan gaya dorong pada roket yang biasanya dinyatakan

dengan impuls spesifik (I_{SP}). Dengan I_{SP} yang besar maka roket dapat meluncur dengan kecepatan yang tinggi. Hal ini ditunjukkan oleh persamaan Thiokovsky seperti berikut ini.

$$V = I_{SP} \cdot g \ln[m_0 / (m_0 - m_p)] \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan:

- V = kecepatan luncur roket;
- I_{SP} = impuls spesifik;
- g = percepatan gravitasi;
- m₀ = masa awal roket;
- m_p = masa propelan

Dengan berpedoman pada persamaan tersebut di atas, pada penelitian komposisi bahan-bahan senantiasa diupayakan dan difokuskan pula pada pembuatan propelan densitas tinggi, dan gas-gas yang dihasilkan adalah yang mempunyai kestabilan tinggi. Tingkat kestabilan gas penting untuk mengurangi terjadinya disosiasi gas yang dapat menurunkan temperatur karena prosesnya bersifat endotermis. Ini berarti bahwa kecepatan pembakaran propelan yang tinggi dapat memberikan kontribusi pula dalam memperkecil kesempatan terjadinya proses disosiasi gas.

Berdasarkan kinetika kimia, proses pembakaran propelan dapat diungkapkan dalam bentuk matematis dengan dua persamaan 2-2 & 2-3 yang masing-masing menunjukkan besarnya debit gas dan laju pembakaran atau dengan kata lain pembentukan gas tersebut.

$$\mu = d \cdot dS \cdot dx/dt \dots\dots\dots (2-2)$$

Keterangan:

- μ = debit masa gas;
- d = densitas propelan;
- dS = luas permukaan propelan;
- dx/dt = kecepatan pembakaran

Sementara persamaan 2-3, menunjukkan hubungan empiris antara tekanan dan kecepatan pembakaran, $r = aP^n \dots\dots\dots (2-3)$ atau ditulis berdasarkan tekanan pembakaran standar 1000 psia,

$$r = a(P/1000)^n \dots\dots\dots (2-4)$$

Keterangan:

- r = kecepatan pembakaran;
- P = tekanan di ruang bakar;
- A = konstanta yang terkait dengan komposisi dan temperatur awal propelan;
- N = eksponen yang dikenal dengan indeks pembakaran (*combustion index*)

Persamaan (2-3) atau (2-4) ini dikenal sebagai Saint-Robert's or Veille's law, dan merupakan persamaan yang penting dalam penetapan kecepatan pembakaran propelan padat di mana pengujiannya dilakukan dengan menggunakan alat *Strand-burner*.

3 SET-UP ADITIF DAN PROSES PEMBUATAN PROPELAN

3.1 Set-up Aditif

Penelitian oksida aditif pemacu kecepatan pembakaran dilakukan dengan menggunakan Fe_2O_3 1 & 2%. Hal tersebut dilakukan di samping merujuk pada literatur juga pada hasil penelitian yang telah pernah dibuat di mana persen penambahan Fe_2O_3 dibuat kurang dari 1%. Sementara untuk penambahan aditif CuO pada tingkat 2% & 5% dilakukan berdasarkan atau dengan pertimbangan perbedaan titik lelehnya dengan Fe_2O_3 , seperti telah dibicarakan sebelumnya. Adapun variasi penambahan dibuat sesuai standar jumlah isian padat yakni 80%.

3.2 Proses Pembuatan Propelan

3.2.1 Metode

Dalam pembuatan propelan yang dimaksudkan untuk melakukan penelitian komposisi dasar, digunakan metode K-Round, dengan teknik pemrosesan standar secara *batch*. Pertama formulasi dan komposisi bahan-bahan ditetapkan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Selanjutnya dilakukan pembuatan di mana proses utamanya terdiri dari: pencampuran/pengadukan, *casting*, dan *curing*.

Dari proses tersebut dapat dihasilkan propelan batangan yang berukuran

diameter 7cm, dengan panjang 30cm, yang digunakan terutama untuk keperluan uji statik serta *propellants' slab* yang dibuat khusus untuk uji kualitas formulasi & komposisi termasuk uji kecepatan pembakaran.

3.2.2 Bahan

- HTPB (Hydroxy Terminated Polybutadiene), sebagai fuel basis *binder*;
- TDI (Toluene Diisocyanate)/IPDI (Isophoron Diisocyanate), sebagai pematang yang juga dikenal dengan fuel kuratif *binder*;
- DBP (Dibutyl Phthalate), sebagai plastisizer;
- AP (Ammonium Perchlorate), sebagai oksidator;
- AP yang dipakai terdiri dari AP_{kasar}: - 50+80mesh dan AP_{halus}: -180+200mesh
- Al (Aluminum), sebagai fuel anorganik dan lebih dikenal dengan fuel metalik (metallic fuel) dan ditambahkan dalam bentuk bubuk;
- Fe_2O_3 (Ferric Oxide) dan CuO (Cupric Oxide) sebagai aditif dan ditambahkan dalam bentuk kristal.

3.3.3 Peralatan

- Mesin pengayak skala Tyler;
- Mixer kecil, tipe Rotary-5 (kapasitas 5kg);
- Alat *casting* dengan sistem vakum untuk 3-K-Round;
- Alat pengering (oven) untuk membantu proses pematangan (*curing process*) propelan;
- Alat uji kekentalan (viscotester);
- Alat uji *strand-burner*, untuk mengetahui laju/kecepatan pembakaran propelan.

3.3.4 Prosedur Pembuatan

Urutan-urutan (*sequences*) pengerjaan pembuatan propelan adalah sebagai berikut ini:

1. Penggerusan dan pengayakan AP;
2. Preparasi bahan-bahan yang akan dicampurkan seberat 3-kg, yang terdiri atas:
 - a. HTPB:IPDI:DBP = 5:1:1, total 20% (berat-per-berat) yang dibuat tetap;

- b. $AP_{kasar}:AP_{halus}= 1:2$, dibuat variatif tergantung penambahan aditif oksida logam, dengan total persen (berat-per-berat) sebesar 70%;
- c. Al sebesar 10%(berat-per-berat) dan dibuat tetap;
- d. Fe_2O_3 dengan variasi 1&2%(berat-per-berat);
- e. CuO dengan variasi 2&5%(berat-per-berat).

3. Pengerjaan pencampuran (mixing)

Proses pencampuran diawali dengan pengumpanan (feeding) komponen cair dan diikuti komponen padatan berdasarkan urutan kehalusan butir (partikel) sebagai berikut:

- a. Pertama kali Bahan dari kombinasi *fuel-binder* (HTPB, IPDI, dan DBP) diumpankan dalam mixer, dicampur/ diaduk selama 10 menit;
- b. Al ditambahkan dan aduk selama 15 menit;
- c. AP_{halus} yang telah dicampur aditif sesuai variasi ditambahkan, aduk selama 15 menit;
- d. AP_{kasar} ditambahkan dan aduk selama 20 menit.

4. Pengerjaan casting

Casting dilakukan dalam kondisi hampa udara (*vacuum*) setelah bahan hasil pencampuran dimasukkan ke dalam K-Round (sebanyak tiga buah atau triplo).

5. Proses pematangan (*curing process*)

Tabung K-Round yang telah terisi propelan di oven selama 20-jam pada temperatur 60-65°C. Setelah dilakukan *decoring*, dilakukan pengujian sampel di Lab Uji Mutu dengan menggunakan *Strand-burner*.

4 HASIL DAN BAHASAN

Hasil-hasil dari penelitian, berupa:

- a) Hasil pengamatan terhadap kondisi campuran.
Selama proses pembuatan propelan dilakukan, kekentalan *slurry* merupakan indikator penting yang dapat diketahui melalui pengukuran viskositas menggunakan *viscotester*

Sebagai perolehan data ditunjukkan pada Tabel 4-1.

- b) Hasil pengamatan terhadap laju/kecepatan pembakaran propelan.

Penentuan laju/kecepatan pembakaran propelan yang dilakukan di Lab Uji Mutu-Propelan, menghasilkan data seperti ditunjukkan pada Tabel 4-2.

Kondisi pengujian yang dilakukan pada tekanan 50 dan 60kg/cm² tersebut, merupakan kondisi yang dipertimbangkan mendekati tekanan yang terjadi di ruang bakar (*chamber*) motor roket pada saat dilakukan uji statik. Dan pada Tabel 4-3 diperlihatkan hasil uji kecepatan pembakaran pada berbagai tekanan dan dengan variasi Fe_2O_3 di bawah 1%.

Dari hasil-hasil yang diperoleh seperti ditunjukkan dalam tabel-tabel tersebut, dapat diuraikan hal-hal berikut sebagai diskusi.

Data pengamatan terhadap kekentalan yang merupakan konsekuensi dari jumlah zat padatan (*solid content*) dan yang merupakan satu-satunya indikator awal untuk menunjukkan bahwa jumlah isian padat telah mencapai level yang optimal. Dengan batasan tersebut berarti campuran telah berada pada posisi puncak layak casting (*castable limit*), yakni pada 2000 poise sesuai standar yang ditetapkan. Batasan ini biasanya dapat diprediksi berdasarkan kecenderungan yang terjadi dari hasil-hasil pengukuran viskositas *premixing* dan viskositas-viskositas tahapan secara grafis.

Dengan standar batasan jumlah isian zat padat yang ditetapkan sebesar 80%, tidak terlihat perubahan pada viskositas campuran. Hal ini menunjukkan bahwa secara fisis kualitatif oksida logam tidak berdampak pada viskositas campuran secara keseluruhan.

Hasil uji *Strand-burner* memperlihatkan bahwa pengaruh aditif Fe_2O_3 memiliki potensi yang cukup dalam meningkatkan kecepatan pembakaran bila ditambahkan antara 1~2%. Dan potensinya lebih kuat dibandingkan dengan CuO malah dapat dikatakan

cukup lebih kuat bila dibandingkan dengan CuO . Pada penambahan aditif yang sama yakni 2%, kecepatan pembakaran propelan yang memakai Fe_2O_3 adalah 0,9275cm/det ($P=50$ atm) atau 1,2975cm/det ($P=60$ atm), sementara jika menggunakan aditif CuO adalah 0,7260cm/det ($P=50$ atm) atau 0,9975cm/det ($P=60$ atm). Bahkan untuk perbedaan penambahan yang dibuat secara cukup ekstrim yakni Fe_2O_3 sebesar 1% sementara CuO sebesar 5%, diperoleh kecepatan pembakaran propelan masing-masing sebesar 0,8100cm/det ($P=50$ atm) atau 1,2637cm/det ($P=60$ atm) dan 0,7516cm/det ($P=50$ atm) atau 1,0160cm/det ($P=60$ atm).

Hal-hal tersebut di atas mengindikasikan bahwa jumlah kandungan oksigen dalam suatu persenyawaan oksida logam sangat dominan dalam mempengaruhi kecepatan pembakaran suatu propelan padat komposit pada umumnya. Sayangnya oksida logam memiliki titik leleh yang tinggi sehingga pemakaiannya dapat dilakukan hanya pada jumlah yang relatif sangat kecil agar tidak terjadi absorpsi panas yang besar yang dapat menimbulkan kontra produktif.

5 KESIMPULAN

- Viskositas campuran dengan adanya penambahan aditif terlihat tidak terpengaruh. Viskositas campuran propelan akhir atau saat *casting* dilakukan adalah sebesar 2000poise, baik dengan memakai aditif Fe_2O_3 maupun CuO . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kualitas fisis bahan aditif oksida logam tidak mempengaruhi kekentalan maupun

terhadap sifat homogenisasi campuran propelan tersebut.

- Adanya unsur oksigen dalam senyawa aditif oksida logam secara signifikan dapat meningkatkan kecepatan pembakaran propelan. Di mana terlihat bahwa aditif Fe_2O_3 memberikan kontribusi yang lebih tinggi dibandingkan CuO dalam mempercepat laju pembakaran propelan.
- Pemakaian oksida logam Fe_2O_3 lebih dapat meningkatkan kecepatan pembakaran propelan dibanding CuO atau dengan kata lain oksida besi (ferric oxide) lebih potensial dari oksida tembaga (cupric oxide) dalam mempercepat laju pembakaran.

DAFTAR RUJUKAN

- Setyaningsih, H., 2001. *Penelitian Bahan Aditif Fe_2O_3 Pada Propelan HTPB-IPDI Berplastisizer*, Laporan Teknik Bidang Propelan, DETEKGAN-LAPAN Rumpin-Bogor.
- Setyaningsih, H., 2002. *Penelitian Bahan Aditif CuO Pada Propelan HTPB-IPDI Berplastisizer*, Laporan Teknik Bidang Propelan, DETEKGAN-LAPAN, Rumpin- Bogor.
- Syarkawi, A., dkk., 1997. *Pengaruh Ukuran Partikel Oksidiser AP Pada Karakteristik ropelan HTPB*, Majalah LAPAN, No. 80, Jakarta.
- Syarkawi, A., dkk., 1998. *Efek Persentase Isian Padat Pada Viskositas Propelan HTPB/IPDI*, Majalah LAPAN, No. 87, Jakarta.
- Syarkawi, A., dan Henny S., 2000. *Analisis Kecepatan Pembakaran Propelan HTPB/IPDI Dengan Variasi Penambahan Persentase Bubuk Aluminium*, Majalah LAPAN, Vol. 2, No.1, Jakarta.

Lampiran

Tabel 1-1: KECEPATAN PEMBAKARAN r DARI PEROPELAN PADAT KOMPOSIT HTPB/ IPDI (5:1) DENGAN VARIASI BUBUK ALUMINIUM ,Al

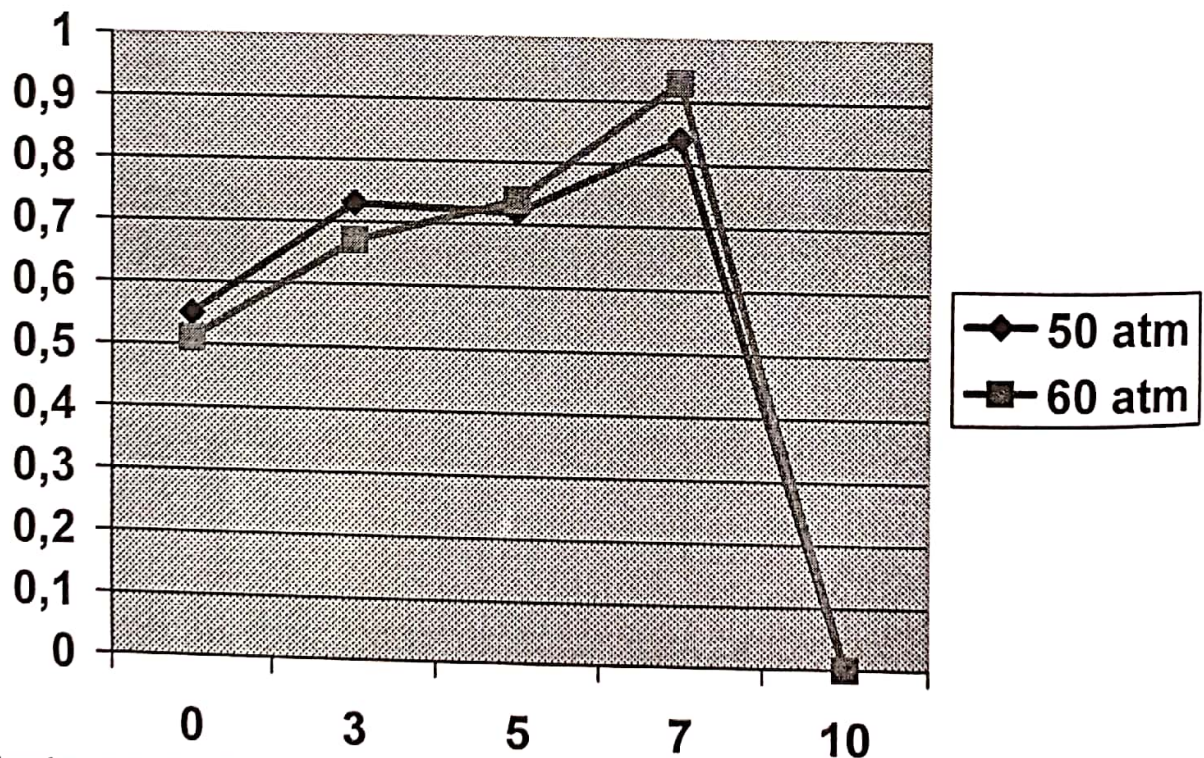
No.	Tekanan Bakar	Bubuk Aluminium, Al (%)				
		0	3	5	7	10 ^{*)}
1.	50 atm	0,55	0,73	0,72	0,84	-
2.	60 atm	0,51	0,67	0,74	0,93	-

^{*)} Campuran propelan tidak bisa dicetak (uncastable)

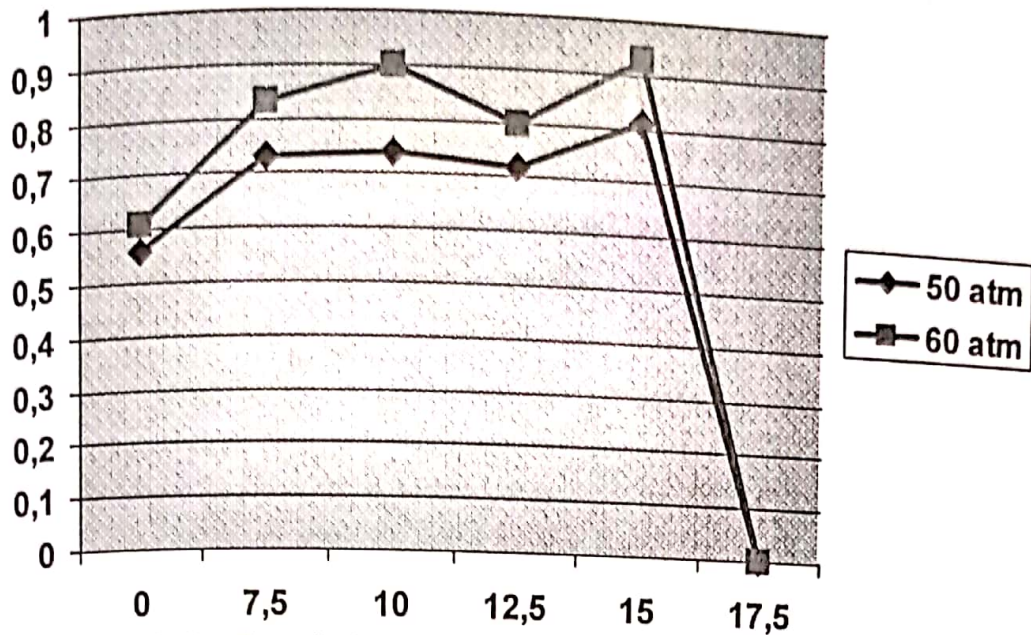
Tabel 1-2: KECEPATAN PEMBAKARAN r DARI PEROPELAN PADAT KOMPOSIT HTPB/ TDI (19:1) DENGAN VARIASI BUBUK ALUMINIUM ,Al

No.	Tekanan Bakar	Bubuk Aluminium, Al (%)					
		0	7,5	10	12,5	15	17,5 ^{*)}
1.	50 atm	0,56	0,73	0,74	0,72	0,81	-
2.	60 atm	0,61	0,83	0,90	0,80	0,93	-

^{*)} Campuran propelan tidak bisa dicetak (uncastable)



Gambar 1-1: Grafik efektifitas stimulasi kecepatan pembakaran oleh %-Al, pada propelan HTPB/IPDI



Gambar 1-2:Grafik efektifitas stimulasi kecepatan pembakaran oleh %Al, pada propelan HTPB/TDI

Tabel 4-1: PENGAMATAN VISKOSITAS PROPELAN PADAT KOMPOSIT HTPB BER-PLASTISIZER SELAMA PERCAMPURAN

No.	Variasi Aditif	Viskositas Tahapan			Batch-1	Batch-2
		Premix	Bubuk -Al ditambahkan	AP _{kasar} ditambahkan	AP _{halus} +Fe ₂ O ₃ ditambahkan	AP _{halus} +Fe ₂ O ₃
1.	Fe ₂ O ₃ 1%	30 poise	400 poise	900 poise	2000 poise	2000 poise
2.	Fe ₂ O ₃ 2%	30 poise	400 poise	900 poise	2000 poise	2000 poise
3.	CuO 2%	30 poise	400 poise	900 poise	2000 poise	2000 poise
4.	CuO 5%	30 poise	400 poise	900 poise	2000 poise	2000 poise

Tabel 4-2: KECEPATAN PEMBAKARAN (r) DARI PROPELAN PADAT KOMPOSIT HTPB BERPLASTISIZER HASIL UJI STRAND-BURNER, LABORATORIUM UJI MUTU-PROPELAN

No.	Aditif dan Variasi Penambahan	Kecepatan Pembakaran, r	
		Pada Tekanan Chamber Uji 50atm	Pada Tekanan Chamber Uji 60atm
1.	Fe ₂ O ₃ 1%	0,8100 cm/det	1,2637 cm/det
2.	Fe ₂ O ₃ 2%	0,9275 cm/det	1,2975 cm/det
3.	CuO 2%	0,7260 cm/det	0,9975 cm/det
4.	CuO 5%	0,7516 cm/det	1,0160 cm/det

Tabel 4-3: HASIL PENELITIAN KECEPATAN PEMBAKARAN PROPELAN PADAT KOMPOSIT JENIS POLIURETAN DENGAN VARIASI F_eO₃ PADA BERBAGAI TEKINAN

No.	Variasi Penambahan F _e O ₃ (%)	Tekanan Bakar	Kecepatan Pembakaran,r
1.	0,00	30,00	0,3200
2.	0,11	34,50	0,4300
3.	0,23	38,75	0,5400
4.	0,35	43,50	0,6300
5.	0,47	48,75	0,7200