

PENGARUH KOMPOSISI PROPELAN TERHADAP NILAI ATENUASI RADIOGRAFI

THE INFLUENCE OF PROPELLANT COMPOSITION TO RADIOGRAPHICAL ATTENUATION COEFFICIENT

Rika Suwana Budi, Geni Rosita
Pusat Teknologi Roket, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
rika.suwana@lapan.go.id

Abstrak

Serapan paparan radiasi pada materi menghasilkan gambar proyeksi dua dimensi dalam media penangkap energi yang membentuk film radiograf dengan nuansa hitam putih dengan tingkat kontras yang bergantung kepada banyaknya elektron yang diteruskan yang berinteraksi dengan media. Kombinasi linear dari komposisi dan nilai atenuasi karakteristik tiap komponen penyusun bahan propelan padat menghasilkan nilai atenuasi bahan yang khas untuk bahan tersebut dan sangat tergantung kepada tingkat energi radiasi yang digunakan serta jenis bahan penyusun, nilai komposisi yang berbeda untuk bahan penyusun yang sama menghasilkan nilai yang relatif tetap pada tingkat energi radiasi tertentu. Atas dasar hal di atas dalam makalah ini telah dilakukan perhitungan nilai atenuasi serapan radiasi bahan propelan pada energi radiasi senilai 2 MV atau setara dengan energi radioisotop Co-60. Metode perhitungan didasarkan kepada perhitungan nilai total atenuasi bahan sebagai jumlah dari nilai atenuasi individu atom/molekul penyusun bahan propelan berbasis HTPB dan oksidiser Ammonium Perklorat (AP) dengan energi sumber radiasi berasal dari Co-60. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai atenuasi hanya tergantung kepada sifat kualitatif bahan daripada sifat kuantitatif bahan/komposisi bahan untuk atom/molekul penyusun propelan.

Kata kunci: propelan padat, atenuasi, HTPB, AP, Co-60, IQI, material ekuivalen.

Abstract

Absorption of radiation exposure in the matter produce two dimension image in energy-capture media, the image consist of black-white color, contrast of which is dependent on transmitted electron and its matter-energy interaction in media. Linear combination of component of solid propellant and its characteristic attenuation produce characteristic attenuation for the solid propellant. In this paper the attenuation value of solid propellant was calculated and the result is the attenuation value is dependent on radiation energy exposure, for the different composition of the same solid propellant component, its characteristic attenuation value tend to constant value in a certain radiation energy. In this paper, calculation of attenuation of HTPB/AP base-solid propellant on 2 MV radiation energy or equivalent to Co-60 energy was conducted. Calculation method based on total summation of individual attenuation of solid propellant materials/HTPB/AP. The results denote that attenuation values was dependent on qualitative properties of matters than the quantitative/material quantitative.

Keywords: solid propellant, attenuation, HTPB, AP, Co-60, IQI, equivalent material.

1. PENDAHULUAN

Inter aksi materi dan energi dalam teknik radiografi menyebabkan sebagian sinar radiasi yang dipancarkan sumber ataupun mesin pembangkit sinar radiasi diserap materi sebagian dan sisanya diteruskan hingga mencapai film [1,16], adanya sinar yang diserap dan diteruskan ini memberikan citra visual yang berbeda saat berinteraksi menghitamkan film atau media pengumpul energi lainnya [2,3,14,] dalam film sinar yang diteruskan dan mengenai film menyebabkan bayangan hitam film sebagai hasil reaksi reduksi ion perak menjadi perak [3], sementara sinar radiasi yang terserap film menghasilkan bayangan putih dalam film. Jumlah sinar radiasi yang diteruskan tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan [4]:

$$I_1 = I_0 e^{-\mu x}$$

Dengan I_0 adalah intensitas radiasi awal dan I_1 merupakan intensitas radiasi yang diteruskan, μ adalah nilai atenuasi dan biasa disebut juga koefisien absorpsi linear dengan satuan cm^{-1} , x adalah jarak yang ditempuh sinar radiasi. Mengingat bahwa koefisien absorpsi ini sangat tergantung kepada sifat bahan yang dilalui sinar radiasi maka perhitungan nilai konstanta ini dapat menggunakan nilai koefisien absorpsi dari komponen pendukung bahan dengan cara menjumlahkan fraksi komponen dengan nilai koefisien serapan intrinsik bahan [5,7]. Dalam makalah ini akan dianalisa pengaruh variasi komponen bahan propelan terhadap nilai koefisien absorpsi. Dibandingkan Lin dkk [18], yang mengutamakan metode eksperimen untuk mendapatkan nilai atenuasi bahan propelan padat berbasis HTPB dan CTPB, pada rentang energi 400 kV, 1 MV, 2 MV dan 13 MV, penulis mencoba mendapatkan nilai atenuasi melalui pendekatan teoritis, dikarenakan keterbatasan peralatan yang ada, dalam praktek radiografi sering kali diperlukan nilai tebakan atenuasi dari bahan yang tidak dikenal untuk menentukan waktu penyinaran, para *radiographer* biasanya mendapatkan waktu penyinaran dengan cara *trial error*, yang secara ekonomis merugikan karena mengorbankan banyak film, dan tentu saja hal ini tidak dikehendaki. Dengan mengetahui nilai atenuasi ini diharapkan bahwa para radiografer dapat mengurangi *trial error* dan mendapatkan nilai atenuasi yang benar dengan membandingkan dengan nilai atenuasi dari bahan yang atau material yang ekuivalen sehingga waktu penyinaran mudah didapatkan tanpa banyak menghabiskan film cadangan.

Propelan padat yang dikembangkan LAPAN merupakan propelan komposit berbasis *Hydroxyl Terminated Polybutadiene* (HTPB) dengan oksidator padat Ammonium Perklorat (AP). Sifat konduktivitas panas ini diperbaiki menggunakan padatan aluminium, sekaligus juga memperbaiki sifat mekanik propelan padat yang dihasilkan [15,16].

Propelan padat ini dibuat dengan terlebih dahulu mencampurkan polimer HTPB dengan oksidator AP, dan Aluminium secara berurutan, bubuk yang terbentuk ini kemudian dimatangkan dengan mencampurkan *Toluene Diisocyanate*, dalam proses pematangan ini terbentuk matriks yang mampu menampung padatan oksidator maupun bubuk aluminium, distribusi padatan dengan tujuan untuk homogenisasi propelan dicampurkan dengan menggunakan bahan aktif permukaan seperti senyawa *adipate* atau *sebacate* [16].

Proses propelan seperti diterangkan di atas berlangsung pada nilai viskositas bubuk propelan tertentu yang *feasible* untuk memudahkan pencetakan dalam rentang waktu yang cukup untuk proses pencetakan, rentang waktu ini disebut sebagai *pot life* propelan. Selama proses pematangan terjadi reaksi ikat silang melalui mekanisme radikal bebas dan juga pembebasan senyawa *particle dispersant* (*adipate* dan *sebacate*), bila pelepasan ini bersamaan dengan pemadatan propelan maka propelan padat ini meninggalkan pori dan alur lipatan akibat keluarnya gas hasil reaksi pematangan maupun ekstraksi *particle dispersant* [15]. Baik pori maupun alur memanjang ini berpotensi menimbulkan retak yang menyebabkan motor roket meledak akibat kenaikan laju permukaan pembakaran yang menimbulkan kenaikan tekanan ruang bakar [16].

Untuk mengetahui ada tidaknya diskontinu bahan selama proses pencetakan dilakukan uji radiografi, uji radiografi ini menghasilkan citra film yang tergantung sifat optik bahan dan tingkat energi sumber radiasi yang digunakan [6], mengingat sifat optik propelan ini bervariasi dengan komposisi propelan maka perhitungan nilai μ propelan (μ_p) menurut persamaan (1) dengan w adalah fraksi berat dari masing-masing komponen propelan. Perhitungan nilai μ komponen menggunakan koefisien absorpsi massa μ_m (cm^2/g) [8], dengan nilai μ_m dihitung menurut persamaan (2) ρ adalah densitas dari bahan, dengan demikian nilai μ_m yang dicantumkan dalam tabel tidak tergantung dari densitas bahan. Untuk bahan yang hanya terdiri dari satu atom saja maka digunakan koefisien serapan atomik, μ_A (cm^2/g), dengan nilai μ_A dihitung sebagai berikut [8,9]: ρ adalah densitas dari bahan, A_r nilai massa atom, N_0 bilangan Avogadro. Perhitungan nilai μ_p dengan demikian dimulai dengan menghitung fraksi berat atom dalam molekul, mengalikan fraksi tersebut dengan nilai μ_A yang ada dalam tabel, hasil perkalian ini dijumlahkan sesuai dengan banyaknya jenis atom sehingga terbentuk nilai μ_m dari massa molekul. Perhitungan nilai μ bahan selanjutnya dihitung berdasarkan penjumlahan dari perkalian fraksi berat senyawa penyusun bahan dikalikan dengan nilai μ_m molekul senyawa penyusun dan dijumlahkan sesuai dengan banyaknya jenis senyawa atau atom penyusun bahan tersebut [8,9,10], untuk propelan diperoleh persamaan (1)

2. METODOLOGI

Perhitungan nilai μ_p , untuk propelan, dihitung berdasarkan komposisi yang digunakan di laboratorium. Nilai atenuasi propelan diperoleh dengan mengalikan nilai koefisien absorptivitas massa propelan dengan nilai densitas propelan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan nilai μ_p , untuk propelan, dihitung berdasarkan komposisi yang digunakan di laboratorium komposisi dengan variasi sebagai berikut (dalam fraksi berat) [11,17] disajikan dalam Tabel 1. Tabel fraksi berat tersebut berdasarkan tiga variasi yang berbeda dari perbandingan HTPB dan TDI, yakni 9:1, 8:1 dan 7:1. Untuk perbandingan yang sama kemudian divariasikan nilai padatan AP dan Al sebagaimana dalam tabel, perhitungan nilai μ komponen bahan polimer didasarkan kepada nilai terkecil dari komponen penyusun polimer, dalam hal ini untuk HTPB perhitungan berdasarkan nilai 'mer' dari butadiene $-[CH_2-CH=CH-CH_2]_n-$ hasil perhitungan tersebut disusun dalam Tabel 2.

Nilai atenuasi propelan diperoleh dengan mengalikan nilai koefisien absorptivitas massa propelan dengan nilai densitas propelan sebesar 1.5 gr/cm³, yang dinyatakan dalam Tabel 3. Nilai atenuasi propelan pada nilai energi yang berbeda menuju ke suatu nilai yang tertentu untuk masing-masing energi walaupun nilai komposisi diubah-ubah, ini berarti untuk suatu propelan dengan bahan penyusun yang sama maka nilai atenuasi pada tingkat energi radiasi tertentu hanya tergantung pada nilai energi [12] dan tidak tergantung komposisi bahan propelan, dengan demikian perbedaan bayangan menjadi signifikan bila terjadi beda ketebalan [16]. Adanya perbedaan ketebalan signifikan ini mengarahkan kepada pembentukan indikator bayangan berbasis propelan [17]. Lin dkk., berpendapat bahwa lebih praktis menggunakan material ekuivalen untuk membentuk IQI daripada langsung menggunakan material propelan padat [18], hal ini karena pada ukuran web propelan yang besar akan memerlukan IQI yang besar, padahal nilai atenuasi propelan secara prinsip tidak berubah dengan komposisi, juga dalam radiografi yang terpenting adalah nilai atenuasi yang sama atau mendekati sama secara statistik, walaupun berasal dari bahan yang berbeda, dapat menggunakan IQI yang sama dari material ekuivalen yang mempunyai rapat masa lebih besar dan nilai serapan lebih besar atau sama dengan material dasar yang diamati, sehingga material ekuivalen ini menghasilkan IQI dengan ukuran yang lebih praktis dan ekonomis serta mudah dibawa [18].

Nilai serapan radiasi setiap komponen penyusun propelan yang khas, menjadikan nilai akumulatif dari nilai atenuasi propelan juga bersifat khas, propelan dengan bahan penyusun yang lain akan mempunyai nilai atenuasi yang berbeda pada tingkat energi tertentu. Jelaslah penambahan jenis komponen merubah nilai atenuasi sesuai hukum akumulasi jenis bahan. Ini berarti komposisi berbeda dari bahan yang sama tidak mengubah nilai atenuasi. Hal ini dapat diterangkan bahwa interaksi materi dan energi sangat bergantung kepada nilai rapat materi tersebut dan konfigurasi elektron dari inti-inti penyusun materi¹⁴ di mana produk-produk interaksi materi energi seperti produk pasangan, dan lain-lain dihasilkan dan memberikan elektron tambahan yang menembus plat CR atau menghitamkan film.

Nilai akhir dari atenuasi propelan menghasilkan satuan yang berkaitan dengan dimensi dari bahan (gr/cm), ini berarti bahwa dimensi dari bahan sangat menentukan dalam pemilihan energi yang digunakan untuk pekerjaan radiografi, adalah tidak mungkin untuk bahan yang tipis digunakan energi tinggi dikarenakan nilai atenuasi yang besar menunjukkan bahwa untuk mendapat kontras bayangan yang baik hanya terjadi pada bahan atau benda dengan dimensi yang mendekati nilai atenuasi artinya ketebalan benda yang besar membutuhkan energi yang besar, bila energi ini digunakan untuk ketebalan yang jauh lebih kecil maka akan sulit dibedakan batas bayangan benda dari lingkungan sekelilingnya.

4. PERSAMAAN MATEMATIKA, TABEL DAN GAMBAR

Setiap persamaan matematika harus dituliskan dengan *Microsoft Equation Tools* atau *Microsoft Equation 3.0*. Persamaan (1) ditulis dengan *Microsoft Equation Tools* dan persamaan (2) ditulis dengan *Microsoft Equation 3.0*. Untuk kerapian penulisan, persamaan dan nomor persamaan dituliskan dalam format tabel tanpa garis, seperti contoh pada *template* ini.

$$\mu_D = w_{HTPB} \mu_{HTPB} + w_{TDI} \mu_{TDI} + w_{Al} \mu_{Al} + w_{AP} \mu_{AP} \tag{1}$$

$$\mu_m = \mu / \rho \tag{2}$$

$$\mu_A = \frac{\mu}{\rho} \times \frac{A_r}{N_0} \tag{3}$$

4.1. Tabel dan Gambar

Tabel 1. Fraksi berat propelan

Fraksi Propelan				
No.	HTPB	TDI	Al	AP
1	0.135	0.015	0.05	0.8
2	0.135	0.015	0.075	0.775
3	0.135	0.015	0.1	0.75
4	0.133333	0.016667	0.05	0.8
5	0.133333	0.016667	0.075	0.775
6	0.133333	0.016667	0.1	0.75
7	0.13125	0.01875	0.05	0.8
8	0.13125	0.01875	0.075	0.775
9	0.13125	0.01875	0.1	0.75

Tabel 2. Perhitungan nilai μ komponen propelan [12]

No.	HTPB					μ_m (cm ² /gr*)		Fraksi Molekul	$\mu_{komponen}$ (cm ² /gr)	
	Atom	Ar	Jumlah Atom	Total Ar	Mr	200 KV	2 MV		200 KV	2 MV
1	C	12	4	48	54	0.123	0.0445	0.888889	0.13633	0.04928
2	H	1	6	6		0.243	0.0875			
Al										
3	Al	27	1	27	27	0.123	0.006		0.123	0.006
Ammonium Perklorat										
4	Cl	35.5	1	35.5	117.5	5.77	106	0.302128	2.22379	39.8538
5	H	1	4	4		0.371	0.435	0.034043		
6	N	14	1	14		0.544	7.52	0.119149		
7	O	16	4	64		0.74	12.7	0.544681		
TDI										
8	C	12	8	96	133	0.4	5.5	0.721805	0.45453	6.31222
9	H	1	7	7		0.371	0.435	0.052632		
10	N	14	1	14		0.544	7.52	0.105263		
11	O	16	1	16		0.74	12.7	0.120301		

Tabel 3. Perhitungan nilai μ propelan

Fraksi Propelan					$\mu_{Propelan}$ (gr/cm)	
No.	HTPB	TDI	Al	AP	200 KV	2 MV
1	0.135	0.015	0.05	0.85	2.7156	47.977
2	0.135	0.015	0.075	0.775	2.63682	46.4827
3	0.135	0.015	0.1	0.75	2.55805	44.9884
4	0.133333	0.016667	0.05	0.8	2.7164	47.9927
5	0.133333	0.016667	0.075	0.775	2.63762	46.4984
6	0.133333	0.016667	0.1	0.75	2.55884	45.0041
7	0.13125	0.01875	0.05	0.8	2.71739	48.0122
8	0.13125	0.01875	0.075	0.775	2.63861	46.5179
9	0.13125	0.01875	0.1	0.75	2.55984	45.0236

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan perhitungan nilai atenuasi serapan propelan, hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai atenuasi ini sangat tergantung pada jenis komponen penyusun propelan tapi tidak tergantung kepada komposisi dari komponen penyusun propelan. Nilai atenuasi tergantung pada tingkat energi tertentu dan perhitungan akhir menunjukkan hubungan dimensi geometri dari propelan akan menentukan efektivitas interaksi materi energi dalam menghasilkan elektron yang dapat ditangkap media. Perbedaan dimensi pada tingkat energi yang sama dapat digunakan sebagai dasar pembuatan indikator kualitas pekerjaan radiografi yang berbasis kepada tingkat penetrasi energi radiasi terhadap bahan tersebut (namun hal ini perlu dibuktikan secara eksperimen).

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan data dari laboratorium komposisi propelan untuk keperluan perhitungan ini. Khususnya Pak Kendra Hartaya, yang memberikan dorongan untuk selalu melakukan penulisan apapun yang dikerjakan di laboratorium, dan tentu saja hal ini tidak mudah bagi penulis.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Mullins, Evolution of NDT, Progr. Appl. Mater. Res., Vol 5, E.G. Stanford, J.H. Fearon, and WJ McGonnagle, Ed., 1964 p 205-212.
- [2] E. Bielecki, et al., MQS Inspection, Inc., 5512 West State Street, Milwaukee, WI
- [3] C.F. Bridman and S. Keck, The Radiography of Paintings, Med. Radiogr. Photogr, Vol 38, 1992, p 78-80
- [4] R.V. Ely Ed., Microfocal Radiography, Academic Press, 1980
- [5] D.E. Gray, Ed., American Institute of Physics Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill, 1963
- [6] J.F. Cameron and J.R. Rhodes, X-Ray Spectrometry with Radioactive Sources, Nucleonics, Vol 23 (No. 6), 1972, p 53
- [7] V.E. Pullin, Engineering Radiography, Bell, 1994.
- [8] Radiation, Quantities and Units, No. 84, NBS Handbook, Superintendent Document, US. Government Printing Office, 2002.
- [9] H. Berger., Ed., Nondestructive Testing Standards A Review, STP 624, ASTM, 1976
- [10] "Radiographic Testing", CT-6-6, American Society for Nondestructive Testing.
- [11] R. Halmshaw, Nondestructive Testing, Edward Arnold, 2007
- [12] J.F. Bussiere, P. Monchalin, C.O. Ruud, and R.E. Green, Ed., Nondestructive Characterization of Materials II, Plenum, 1986.
- [13] P.E. Mix, Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide, Wiley, 1987 Computed Radiography CR 25 Manual, General Electric., Co., USA., 2010.
- [14] Solomon, Solid Rocket Propellant Inspection Testing, Wiley, 2001.

- [15] E.A. Raymond, Defects In Polymer: Radiographic Testing, McGraw Hill, 2004.
- [16] Geni Rosita, Catatan Variasi Komposisi Propelan, 2016, (Catatan Pribadi tidak dipublikasi).
- [17] Lin Y. A, H.Y. Zhao, "Practical Methode for Making Solid Propellant IQI in Radiographic Testing", *Chinese NDT Journal, English version*, Vol. 37, 986-991, BIT Publisher, 2015

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA UMUM

Nama Lengkap : Rika Suwana Budi
Tempat & Tgl. Lahir : Bandung, 12 Maret 1969
Jenis Kelamin : Laki-laki
Instansi Pekerjaan : Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
NIP. / NIM. : 19690312 199502 1001

DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMA Negeri 2 Bandung Tahun: 1986-1988
STRATA 1 (S.1) : Kimia ITB Tahun: 1988-1993
STRATA 2 (S.2) : OVG Univ. Magdeburg Germany Tahun: 1999-2000

ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jalan Raya LAPAN 2 Mekarsari Rumpin Bogor 16350
Email : rikasuwanabudi@yahoo.com