



SIMULASI KOMPOSISI KOMPOSIT ELASTIS KARET ALAM SENYAWA BORON UNTUK PROTEKSI RADIASI NEUTRON

Sri Mulyono Atmojo

Pusat Standardisasi dan Jaminan Mutu Nuklir - BATAN

ABSTRAK

SIMULASI KOMPOSISI KOMPOSIT ELASTIS KARET ALAM SENYAWA BORON UNTUK PROTEKSI RADIASI NEUTRON. Telah dilakukan simulasi perancangan *shielding* elastis dari karet alam senyawa boron. Rancangan *shielding* ini berupa komposit yang berukuran 15 x 15 x 0,22 cm dengan variasi komposisi senyawa boron dari 25 *part per one hundred rubber* (pphr) sampai dengan 225 pphr. Selain itu dibuat simulasi komposisi senyawa boron dari 25 - 225 pphr, sedangkan berat karet alam dan B₄C tetap, masing-masing 100 gram dan 25 gram. Senyawa boron yang digunakan adalah H₂BO₃, Na₂B₄O₇, B₂O₃ dan B₄C. Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa komposit senyawa boron B₂O₃ dan B₄C memberikan koefisien penampang lintang serapan cukup besar. Sedangkan simulasi B₄C dengan senyawa yang lain menunjukkan bahwa dengan komposisi B₄C hanya 25 pphr yang dicampur dengan senyawa yang lain dapat diperoleh pula koefisien penampang lintang serapan neutron yang cukup besar. Oleh karena itu, dengan gambaran yang diperoleh dari simulasi tersebut, dimungkinkan untuk memilih dan menetapkan komposisi senyawa sehingga dapat digunakan sebagai dasar perencanaan pembuatan *shielding*/bahan proteksi radiasi neutron.

ABSTRACT

THE COMPOSITION SIMULATION OF THE COMPOSITE BASE ON NATURAL RUBBER BORON COMPOUND FOR NEUTRON RADIATION PROTECTION. The design of an elastic shield was investigated. Elastic shield is a composite which is made of the natural rubber and boron compound. Size of the composite is 15 x 15 x 0,22 cm and their composition variation are 25 part per one hundred rubber (pphr) up to 225 pphr. Besides that, simulation of boron compound composition from 25 - 225 pphr, while the weight of natural rubber and B₄C is constant, each 100 grams and 25 grams. Boron compounds used are H₂BO₃, Na₂B₄O₇, B₂O₃ and B₄C respectively. The result of the design shows that the composite of boron compound B₂O₃ and B₄C have the great cross section. Likewise, the simulation process based on the natural rubber plus 25 pphr boron carbide has a great coefficient cross section. Therefore, the simulation can be used to determine the composition of the boron compound.

PENDAHULUAN

Berbagai jenis peralatan proteksi radiasi neutron diciptakan untuk keperluan keselamatan kerja terhadap radiasi neutron. Peralatan ini berfungsi sebagai *shielding* (perisai) radiasi neutron dan digunakan di reaktor riset maupun reaktor daya serta di fasilitas penunjangnya. Peralatan ini dibuat dari komposit karet alam senyawa boron. Berdasar penelusuran yang telah dilakukan, sampai saat ini *shielding* radiasi neutron dibuat dari bahan-bahan padat yang kaku, misalnya logam atau karet yang dicampur boron. Namun tidak ada yang menggunakan karet alam yang dicampur boron. Karet alam yang merupakan sumber daya alam yang selalu berkembang dan merupakan produk negara Indonesia, akan menjadi andalan sebagai bahan utama komposit ini dalam pemanfaatannya sebagai *shielding* radiasi neutron. Karet alam digunakan sebagai matrik komposit, sedangkan senyawa boron berfungsi sebagai penyerap radiasi neutron. Daya serap bahan terhadap radiasi neutron tergantung pada *cross-section* (penampang

lintang, σ) bahan.^[1] Sedangkan σ merupakan fungsi dari massa jenis. Oleh karena itu komposisi bahan-bahan pembuat komposit akan menentukan kemampuan penyerapannya terhadap radiasi neutron. Selain komposisi yang mempengaruhi daya serapnya, faktor tebal tipisnya bahan juga menentukan besar kecilnya daya serap. Untuk memudahkan perancangan, beberapa parameter dibuat tetap. Parameter-parameter tersebut antara lain: volume komposit dan bahan-bahan pengolah karet sedangkan komposisi bahan pengisi/penyerap bervariasi. Proses yang digunakan adalah proses konvensional, sehingga diharapkan nantinya para pembuat barang teknik karet akan sangat familier terhadap pengolahan karet, serta akan memudahkan perhitungan komposisi dan keberhasilan pengolahan karet akan lebih terjamin. Sebagai bahan dasar perancangan adalah karet alam fase padat yang dicampur dengan senyawa boron. Besaran senyawa boron ini dinyatakan dengan ukuran *part per one hundred rubber*

(pphr). Berdasarkan kepada volume tetap tersebut, dapat dibuat variasi komposisi senyawa boron. Empat jenis senyawa boron, yaitu: H_2BO_3 , $Na_2B_4O_7$, B_2O_3 dan B_4C , digunakan dalam pembuatan rancangan pembuatan simulasi ini. Hasil perhitungan yang diperoleh adalah besarnya massa jenis (ρ), koefisien penampang lintang bahan (σ) dan daya serap terhadap radiasi neutron termal dalam %. Pemilihan bahan-bahan ini harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan yaitu: bahan harus mempunyai σ besar, interaksinya dengan neutron tidak mengakibatkan reaksi fisi dan tidak menghasilkan isotop yang berumur panjang^[2]

Perhitungan meliputi komposit dengan empat senyawa boron dan dengan menggunakan simulasi empat senyawa tersebut yang berbasis kepada berat karet alam 100 gram dan boron karbida 25 gram, serta komposisi dan ketebalan.

TEORI

Pada perancangan ini, karet alam fase padat yang mempunyai rumus empiris $C_{10}H_{16}$,^[3] dicampur dengan senyawa boron: H_2BO_3 , $Na_2B_4O_7$, B_2O_3 dan B_4C , masing-masing dengan berbagai komposisi. Volume sampel adalah : $15 \times 15 \times 0,22$ cm. Jika intensitas berkas neutron sebelum dan sesudah melewati sampel diukur, maka berlaku hubungan :

$$\Phi = \Phi_0 \times e^{-\Sigma x} \quad [4] \quad (1)$$

atau,

$$\Phi = \Phi_0 \times e^{-N\sigma x} \quad [4] \quad (2)$$

di mana, Φ adalah intensitas berkas neutron sesudah melewati sampel, $n.cm^{-2}.dt^{-1}$, Φ_0 adalah intensitas berkas neutron sebelum melewati sampel, $n.cm^{-2}.dt^{-1}$, σ adalah penampang lintang mikroskopik sampel, cm^2 , x adalah tebal sampel, cm, Σ adalah penampang lintang makroskopik sampel, cm^{-1} , N adalah jumlah inti atom per-unit volume, $atom.cm^{-3}$.

Sedangkan N dapat ditentukan sebagai berikut :

$$N = \rho N_A / A \quad [4] \quad (3)$$

di mana, ρ adalah massa jenis unsur, $gram.cm^{-3}$, N_A adalah bilangan Avogadro, $6,002 \times 10^{23}$, A adalah nomor atom.

$$\Sigma = (\rho N_A / A) \times \Sigma(W_i \times \sigma_i) \quad (4)$$

Daya serapnya dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$(\Phi_0 - \Phi) / \Phi_0 \times 100 \% \quad [5] \quad (5)$$

Pada persamaan (1) σ adalah penampang lintang mikroskopik unsur pembentuk sampel. Maka untuk sampel yang berupa komposit harus dihitung besarnya σ makroskopik. Dalam hal ini, unsur-unsur yang dominan

saja yang diperhitungkan. Untuk keperluan shielding elastis ini, karet alam dan senyawa boron merupakan unsur-unsur yang dominan. Tabel 1 berikut merupakan tabel yang digunakan untuk menghitung σ makroskopik.

Tabel 1. Daftar σ mikroskopik beberapa unsur dalam sampel.^[6]

No	Nama unsur	σ_a $\times 10^{-24}$ cm	σ_s $\times 10^{-24}$ cm	σ_f $\times 10^{-24}$ cm
1.	H	0,332	38	-
2.	O	0.0002	4,2	-
3.	C	0.0037	4,8	-
4.	B	755	4	-
5.	Na	0.505	4	-

σ_a : penampang lintang absorpsi, σ_s : penampang lintang hamburan, σ_f : penampang lintang pembelahan

METODA PENGHITUNGAN

Untuk menentukan besarnya Σ , terlebih dahulu harus menghitung besarnya volume dan berat setiap senyawa boron dan karet alam pada setiap komposit. Selanjutnya dihitung besarnya ρ setiap komposit dan kemudian ditentukan harga Σ makroskopik total komposit, serta yang terakhir dihitung besarnya daya serap terhadap radiasi neutron termal.

Untuk keperluan perhitungan diatas, digunakan persamaan berikut :

$$\rho = G / V \quad [5] \quad (6)$$

dimana, ρ adalah massa jenis bahan, $gram.cm^{-3}$, V adalah volume bahan yang diperlukan untuk setiap komposisi pada volume sampel yang tetap ($V_{komposit} = 49,5 \text{ cm}^3$)

Contoh perhitungan.

Untuk dengan karet alam dengan komposisi 25 pphr senyawa boron H_2BO_3 , dapat dihitung sebagai berikut :

Karet alam mempunyai massa jenis $0,95 \text{ gr/cm}^3$, sehingga untuk berat 100 gram volumenya adalah: $100 / 0,95 \text{ cm}^3 = 105 \text{ cm}^3$. Sedangkan volume H_2BO_3 dengan berat 25 gram, mempunyai volume: $25 / 1,435 \text{ cm}^3 = 17,42 \text{ cm}^3$.

Untuk volume sampel $15 \times 15 \times 0,22 \text{ cm}^3 = 49,5 \text{ cm}^3$, masing-masing bahan mempunyai volume sebagai berikut:

Volume karet alam = $(105 \times 49,5) / (105 + 17,42) \text{ cm}^3 = 42,6 \text{ cm}^3$ dan volume $H_2BO_3 = (49,5 - 42,6) \text{ cm}^3 = 6,9 \text{ cm}^3$. Berat karet alam = $42,6 \times 0,95 \text{ gr} = 40,5 \text{ gram}$ dan berat $H_2BO_3 = 6,9 \times 1,435 \text{ gr} = 9,9 \text{ gram}$.

Demikian perhitungan dilakukan untuk semua komposisi senyawa H_2BO_3 , serta untuk semua jenis

senyawa boron yang lain. Tabel 2 berikut merupakan tabel hasil perhitungan massa jenis tersebut.

Tabel 2. Hasil perhitungan massa jenis berbagai komposisi senyawa boron.

Komposit (pphr)	H ₂ BO ₃ (gr/cm ³)	Na ₂ B ₄ O ₇ (gr/cm ³)	B ₂ O ₃ (gr/cm ³)	B ₄ C (gr/cm ³)
Karet alam	0,95	0,95	0,95	0,95
25	1,02	1,045	1,0524	1,086
50	1,071	1,118	1,134	1,201
75	1,111	1,178	1,201	1,3
100	1,144	1,23	1,256	1,38
125	1,170	1,27	1,302	1,46
150	1,191	1,35	1,342	1,5225
175	1,211	1,38	1,38	1,58
200	1,227	1,36	1,406	1,631
225	1,24	1,38	1,432	1,68

Karet alam adalah karet alam tanpa campuran senyawa boron, komposisi 25 pphr dst. adalah komposisi komposit terdiri dari 25 gram senyawa boron pada setiap 100 gram karet alam

Selanjutnya dihitung Σ_{sb} untuk setiap senyawa boron dan $\Sigma_{karetalam}$ menggunakan persamaan 3 dan 4, serta dihitung Σ_{total} komposit untuk setiap komposisi dan setiap jenis senyawa boron. Hasil perhitungan Σ_{sb} H₂BO₃ adalah : 12,56 cm⁻¹, Σ_{sb} Na₂B₄O₇ = 16,7 cm⁻¹, Σ_{sb} B₂O₃ = 25,49 cm⁻¹, Σ_{sb} B₄C = 87,47 cm⁻¹ dan $\Sigma_{karetalam}$ = 2,783 cm⁻¹. Untuk komposisi 25 pphr H₂BO₃ : $\Sigma_{total ko.25}$ = $\Sigma_{ko} \times (100 / 125 \times \sigma_{ka} + 25 / 125 \times \sigma_{sb})$, dimana Σ_{ko} adalah komposit, σ_{ka} adalah karet alam, σ_{sb} adalah senyawa boron, total ko 25 adalah total komposit komposisi 25 pphr. Sehingga $\Sigma_{total ko.25}$ = $1,02 \times (100 / 125 \times 2,783 \text{ cm}^{-1} + 25 / 125 \times 12,56 \text{ cm}^{-1})$ = 4,833 cm⁻¹

Demikian perhitungan ini dilakukan untuk semua komposisi dan semua senyawa. Hasil yang diperoleh seperti pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil perhitungan Σ_{total} berbagai komposisi senyawa boron

Komposit (pphr)	H ₂ BO ₃ (cm ⁻¹)	Na ₂ B ₄ O ₇ (cm ⁻¹)	B ₂ O ₃ (cm ⁻¹)	B ₄ C (cm ⁻¹)
Karet alam	2,783	2,783	2,783	2,783
25	4,833	5,82	7,71	21,42
50	6,47	8,30	11,74	37,25
75	7,78	10,3	15,03	50,80
100	8,78	11,98	17,76	62,27
125	9,61	13,35	18,44	72,75
150	10,30	15,03	22,02	81,6
175	10,94	16,06	23,78	89,55
200	11,41	16,40	25,20	96,62
225	12,31	17,14	26,50	103,17

Karet alam adalah karet alam tanpa campuran senyawa boron, komposisi 25 pphr dst. adalah komposisi komposit terdiri dari 25 gram senyawa boron pada setiap 100 gram karet alam

Berdasar kepada Tabel 3 tersebut, dapat dihitung besarnya daya serap komposit dengan

menggunakan persamaan (5) yang dimodifikasi menjadi: daya serap = $(1 - e^{-2x}) \times 100$ %. Sehingga untuk komposit karet alam H₂BO₃ dengan komposisi 25 pphr, daya serapnya sebesar : $(1 - e^{-4,833 \times 0,22}) \times 100$ % = 66 %. Sedangkan untuk karet alam sebesar : $(1 - e^{-2,78 \times 0,22}) \times 100$ % = 45,78 %.

Demikian seterusnya, metoda ini digunakan untuk menghitung besarnya daya serap setiap komposit pada setiap komposisi. Hasil perhitungan seperti ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Selanjutnya dibuat simulasi komposisi senyawa boron dengan berbagai variasi, berbasis pada berat karet alam 100 gram dan berat boron karbida 25 gram. Hasil perhitungan massajenis seperti tertera pada Tabel 5, sedangkan hasil perhitungan koefisien penampang lintang dan daya serap terhadap radiasi neutron seperti pada Tabel 6 dan Tabel 7 berikut ini.

Tabel 4. Hasil perhitungan daya serap berbagai komposisi senyawa boron.

Komposit (pphr)	H ₂ BO ₃ (%)	Na ₂ B ₄ O ₇ (%)	B ₂ O ₃ (%)	B ₄ C (%)
Karet alam	45,78	45,78	45,78	45,78
25	66	72,21	81,66	99,1
50	75,9	83,89	92,44	99,7
75	81,94	89,63	96,34	99,99..
100	85,5	92	97,99	99,99..
125	87,92	94,7	98,27	99,99..
150	89,63	96,34	99,21	99,99..
175	89,95	97,07	99,47	99,99..
200	91,88	97,23	99,61	99,99..
225	97,7	97,67	99,71	99,99..

Karet alam adalah karet alam tanpa campuran senyawa boron, komposisi 25 pphr dst. adalah komposisi komposit terdiri dari 25 gram senyawa boron pada setiap 100 gram karet alam

Tabel 5. Hasil perhitungan massa jenis berbagai komposisi senyawa boron, dengan basis berat karet alam 100 gram dan berat boron karbida 25 gram

Komposit (pphr)	H ₂ BO ₃ (gram/cm ³)	Na ₂ B ₄ O ₇ (gram/cm ³)	B ₂ O ₃ (gram/cm ³)
Karet alam	0,95	0,95	0,95
25	1,133	1,1602	1,1666
50	1,169	1,2175	1,232
75	1,194	1,2643	1,2852
100	1,2179	1,3035	1,33
125	1,2379	1,3363	1,35
150	1,2539	1,3644	1,402
175	1,267	1,3908	1,4312
200	1,2785	1,4123	1,457
225	1,2885	1,4314	1,4739
250	1,2973	1,4483	1,5959

Karet alam adalah karet alam tanpa campuran senyawa boron, komposisi 25 pphr dst. adalah komposisi komposit terdiri dari 25 gram senyawa boron pada setiap 100 gram karet alam

Tabel 6. Hasil perhitungan Σ_{total} berbagai komposisi senyawa boron, berbasis karet alam 100 gram dan boron karbida 25 gram.

Komposit (pphr)	H ₂ BO ₃ (cm ⁻¹)	Na ₂ B ₄ O ₇ (cm ⁻¹)	B ₂ O ₃ (cm ⁻¹)
Karet alam	2,783	2,783	2,783
25	18,53	22,21	24,157
50	20,67	22,81	26,38
75	20,39	23,28	28,20
100	20,14	23,71	29,73
125	19,98	24,05	30,62
150	19,85	24,35	32,18
175	19,72	24,64	33,17
200	19,60	24,86	34,04
225	19,50	25,06	34,68
250	19,42	25,24	37,77

Karet alam adalah karet alam tanpa campuran senyawa boron, komposisi 25 pphr dst. adalah komposisi komposit terdiri dari 25 gram senyawa boron pada setiap 100 gram karet alam

Tabel 7. Hasil perhitungan daya serap berbagai komposisi senyawa boron, berbasis Karet alam 100 gram dan boron karbida 25 gram

Komposit (pphr)	H ₂ BO ₃ (%)	Na ₂ B ₄ O ₇ (%)	B ₂ O ₃ (%)
Karet alam	45,78	45,78	45,78
25	98,3035	99,2450	99,5080
50	98,9405	99,3383	99,6983
75	98,8732	99,4034	99,7786
100	98,8095	99,4572	99,8556
125	98,7669	99,4963	99,8813
150	98,7311	99,5285	99,9151
175	98,6943	99,5576	99,9323
200	98,6593	99,5785	99,9441
225	98,6295	99,5967	99,9514
250	98,6052	99,6123	99,9754

Karet alam adalah karet alam tanpa campuran senyawa boron, komposisi 25 pphr dst. adalah komposisi komposit terdiri dari 25 gram senyawa boron pada setiap 100 gram karet alam

Tabel 8. Hasil perhitungan daya serap sampel dengan tebal 0,5 cm, berbagai komposit berbasis karet alam 100 gram dan boron karbida 25 gram.

Komposit, pphr	Dayaserap, %		
	H ₂ BO ₃	Na ₂ B ₄ O ₇	B ₂ O ₃
Karet alam	75,13	75,13	75,13
25	99,9905	99,9985	99,9993
50	99,9968	99,9989	99,9998

Karet alam adalah karet alam tanpa campuran senyawa boron, komposisi 25 pphr dst. adalah komposisi komposit terdiri dari 25 gram senyawa boron pada setiap 100 gram karet alam

Jika basis ketebalan diubah, maka akan diperoleh daya serap yang semakin meningkat. Oleh karena itu dicoba dihitung besarnya daya serap komposit dengan ketebalan sampel sekitar 0,5 cm. Dengan menggunakan persamaan (1) dapat ditentukan besarnya daya serap tersebut. Perhitungan ini dilakukan hanya untuk beberapa komposisi yang dayaserapnya mencapai

sekitar 99,99 %. Hasil perhitungan seperti tertera pada Tabel 8.

PEMBAHASAN

Dari Tabel 4, terlihat hampir semua senyawa boron menunjukkan bahwa pada komposisi 50 pphr keatas perubahan penampang lintang serapan komposit tidak terlalu besar. Hal ini berarti bahwa pada komposisi tersebut, merupakan daerah yang dapat digunakan untuk proteksi radiasi neutron. Bahkan untuk senyawa B₄C, hal tersebut sudah terlihat pada komposisi 25 pphr. Pada komposisi ini, sudah menampakkan nilai yang konstan sekitar 99 %. Hasil pembuatan simulasi komposisi, menunjukkan bahwa senyawa boron karbida tetap dominan dalam meningkatkan daya serap bahan terhadap radiasi neutron. Hal ini terlihat dengan adanya kenaikan koefisien penampang lintang yang tidak terlalu besar, seperti terlihat pada Tabel 7. Bahkan pada simulasi dengan senyawa H₂BO₃, penambahan jumlah H₂BO₃ malah menurunkan daya serapnya. Hal ini mungkin disebabkan karena volume bahan pengisi lebih besar atau sama dengari bahan matrik, Namun bila tebal sampel dibuat lebih besar (menjadi 0,5 cm), semua komposit cukup baik bila digunakan sebagai bahan penyerap radiasi neutron seperti terlihat pada Tabel 8. Pada tabel tersebut, terlihat bahwa hanya dengan komposisi 50 pphr, sampel sudah mempunyai daya serap sebesar 99 % lebih. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa hampir semua senyawa menunjukkan penyerapan yang cukup baik, sehingga memungkinkan untuk digunakan sebagai shielding/proteksi radiasi neutron. Tetapi sebagai barang teknik karet, senyawa ini masih memerlukan kajian apakah akan mempengaruhi proses terjadinya vulkanisasi karet atau tidak. Untuk keperluan ini harus ditinjau sifat masing-masing senyawa. H₂BO₃ bersifat asam, sedangkan karet alam bersifat basa. Dalam proses pencampuran karet, dua sifat ini akan menyulitkan proses terjadinya vulkanisasi. Oleh karena itu diperlukan kajian lebih lanjut, bila H₂BO₃ akan digunakan sebagai bahan pencampur karet alam, misalnya dengan dipanaskan sehingga akan menjadi senyawa yang netral. Sedangkan senyawa Na₂B₄O₇ bila digunakan sebagai campuran, maka unsur Na perlu diperhatikan. Senyawa ini mudah menangkap uap air, sehingga akan menyebabkan terjadinya butiran-butiran pada permukaan karet yang menyebabkan tidak terpenuhinya persyaratan uji mekanik komposit yang direncanakan. Namun daya serap yang diperoleh cukup besar, sehingga dengan memperhatikan kekurangan yang ada, maka pemakaian senyawa ini dimungkinkan. B₂O₃ merupakan senyawa berbentuk oksida, sehingga bersifat netral. Umumnya senyawa oksida tidak mengganggu proses vulkanisasi. Oleh karena itu, pemakaian senyawa B₂O₃ sangat dimungkinkan, sebab selain hal tersebut diatas, nilai daya serap komposit ini cukup besar. Mengingat peranan boron karbida sangat besar untuk menghasilkan daya serap yang tinggi, maka kemungkinan pemanfaatan

simulasi untuk mendapatkan optimasi pemakaian boron karbida sebagai bahan penyerap radiasi neutron akan menolong untuk menekan biaya seefektif mungkin.

KESIMPULAN

Dengan menggunakan simulasi komposisi dan ketebalan, ternyata bisa diperoleh gambaran komposisi senyawa boron sedemikian sehingga memungkinkan untuk memilih gabungan bahan-bahan yang memungkinkan untuk dapat digunakan sebagai bahan penyerap radiasi neutron. Namun beberapa hal yang harus diperhatikan agar kegagalan simulasi ini tidak terjadi antara lain : pengaruh senyawa boron pada proses pengolahan karet, serta kemungkinan terjadinya proses hamburan yang mungkin terkait dengan nilai Σ_C maupun ketebalan bahan komposit.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. R. G. JAEGER dkk. Engineering Compendium on Radiation Shielding, vol.1, Shielding Fundamentals

and Methods, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, New York 1970.

- [2]. SRI MULYONO ATMOJO dkk, Daya Serap Iradiasi Neutron Komposit Karet Alam Senyawa Boron, Prosiding Seminar Nasional Material dan Lingkungan Dalam Pembangunan Industri, LIPI, 1998
- [3]. M.A. COWD, Kimia Polimer, Penerbit ITB, Bandung, 1981
- [4]. P. VAN DER HARDT and H. RODDGER, Neutron Radiography Handbook, Nuclear Science and Technology, D. Reidel Publishing Company, 1981
- [5]. SRI MULYONO ATMOJO dkk. Diversifikasi Karet Alam Untuk Proteksi Radiasi Nuklir, Kumpulan Karya Tulis Lomba Inovasi IPTEK, PUSPIPTEK, 2000
- [6]. GLENN MURPHY, Elements of Nuclear Engineering, John Willey and Sons Inc. New York, 1961.

TANYA – JAWAB

Pemanya : B. H. Sasangka (P3TIR-BATAN)

1. Apakah hasil penelitian sudah dapat diaplikasikan ?
2. Sampai konsentrasi berapa B_4C dapat digunakan sebagai *shielding* neutron ?

Jawaban :

1. Hasil penelitian ini belum dibuat prototipnya, karena masih ingin dicari bahan yang dapat mengganti B_4C atau bahan yang dapat digabung dengan sesedikit mungkin B_4C , mengingat harga B_4C yang cukup mahal.
 2. Dari penelitian yang pernah dilakukan, konsentrasi B_4C sebesar 100 pphr mempunyai karakteristik yang sama dengan karet boron impor dari negara Jepang.
-