BAB II

DASAR TEORI

2.1. Interaksi radiasi dengan materi

Radiasi sinar gamma (γ) adalah bentuk gelombang elektromagnetik. Menurut Einstein, dengan berdasar postulat Planck, energi gelombang elektromagnetik dipancarkkan sebagai quanta atau foton dengan hubungan E = h.f, h ialah konstanta Planck ($6,625 \times 10^{-34}$ J.S) dan f adalah frekwensi gelombang.

Ionisasi yang terjadi karena interaksi radiasi sinar gamma (γ) dengan materi yang ditimbulkan akan lebih banyak daripada yang ditimbulkan oleh partikel bermuatan, karena elektron yang dikeluarkan atau dibebaskan oleh atom masih mempunyai energi yang cukup untuk mengionisasi atom yang lain. Ada tiga proses yang menyebabkan terjadi penyerapan foton atau hilanganya energi, yaitu : Absorbsi Fotolistrik, Effek Compton dan Effek Produksi Pasangan.

2.1.1. Absorbsi Fotolistrik

Bila foton mengenai elektron dalam suatu orbital dalam atom, sebagian energi foton (γ) digunakan untuk mengeluarkan elektron

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dari atom dan sisanya dibawa oleh elektron sebagai energi kinetiknya. Seluruh energi foton dipakai dalam proses tersebut. [3]

$$E = h.f = \Phi + Ek$$

Dimana : Φ = energi ikat elektron

Ek = Energi Kinetik elektron

Adapun besar energi ikat suatu atom sesuai dengan lintasan elektron atau yang telah dikelompokkan ke dalam kulit-kulit atom menurut Mossley dirumuskan sebagai berikut:[7]

$$E = 13,6 \frac{(Z - \sigma)^2}{n^2}$$

Dimana : Z = Nomor atom

σ = Screening constant (Kulit K = 3, L = 5 dan seterusnya)

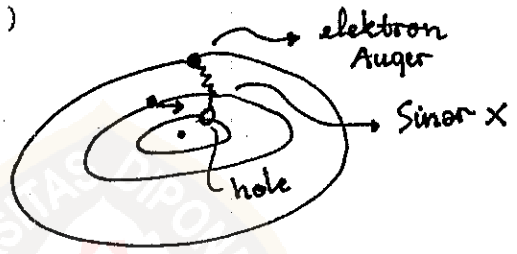
n = Bilangan kuantum (n = 1 $\longrightarrow$ K, n = 2 $\longrightarrow$ L, dan seterusnya)

Peristiwa efek Fotolistrik ini terjadi pada energi radiasi rendah (E < 1 Mev) dan Z (Nomor atom) yang besar. Untuk radiasi energi rendah, foton berinteraksi dengan elektron orbit luar dan bila energi radiasi lebih besar, elektron dari orbit lebih dalam yang akan dikeluarkan.

Bila elektron dikeluarkan dari orbit

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

yang lebih dalam , kekosongan yang terjadi akan diisi oleh salah satu elektron dari orbit luar dan terjadilah pemancaran sinar X. Kadang-kadang sinar X ini akan mengenai dan mengeluarkan elektron dari orbit luar dengan energi yang sama dengan energi sinar X dikurangi dengan energi ikatan elektron. Elektron semacam ini disebut elektron Auger. Proses ini terjadi dalam materi dengan nomor atom berat (gb. 1)



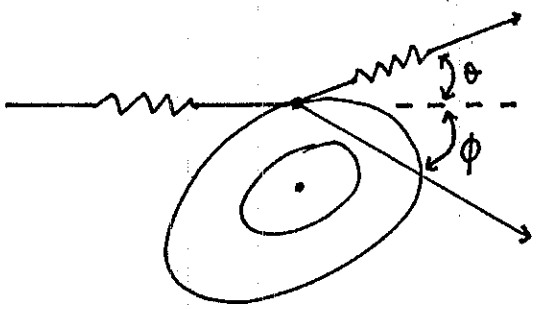
Gbr. 1 : Prosesterjadinya elektron Auger

Dalam unsur radioaktif yang memancarkan sinar gamma (γ) akan terjadi fotolistrik di dalam yang disebut internal conversion, di mana sinar yang keluar akan membebaskan elektron dari orbit yang lebih dalam.

2.1.2. Efek Hamburan Compton

Untuk energi foton atau gamma (γ) yang terletak antara 500 kev dan 5 Mev peristiwa interaksi yang dominan terjadi dalam unsur ringan dan sedang adalah hamburan Compton. Selain dihamburkan dengan sudut θ dengan panjang gelombang yang berlainan.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gbr. 2 : Hamburan Compton

Perbedaan $\lambda_1 - \lambda$ memenuhi persamaan :

$$\lambda_1 - \lambda = 0{,}0242\ (1 - \cos\theta)\ {}^{o}A \qquad (3)$$

yang tidak tergantung pada energi sinar gamma (γ) yang tiba.

λ_1 = Panjang gelombang hamburan

λ = Panjang gelombang datang

Dari hukum kekekalan energi berlaku,

$$hf = hf' + Ek \qquad (4)$$

bEenergi foton yang dihamburkan (hf') sebesar

$$hf' = \frac{M_oC^2}{\dfrac{M_oC^2}{hf} + 1 - \cos\theta} \qquad (5)$$

<u>Dimana :</u> M_o = Massa elektron

C = Kecepatan elektron

M_oC^2 = Rest energi elektron = 0,511 Mev

Sedang energi elektron yang dikeluarkan ialah

$$Ek = \frac{(hf)^2\ (1 - \cos\theta)}{M_oC^2 + hf\ (1 - \cos\theta)} \qquad (6)$$

Hubungan antara sudut θ dan Φ ditentukan menurut

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$\text{Cotg } \Phi = -\left(1 + \frac{hf}{M_oC^2}\right) \tan \frac{\Phi}{2} \qquad (7)$$

Dalam daerah energi tinggi, energi foton yang dihamburkan akan menjadi

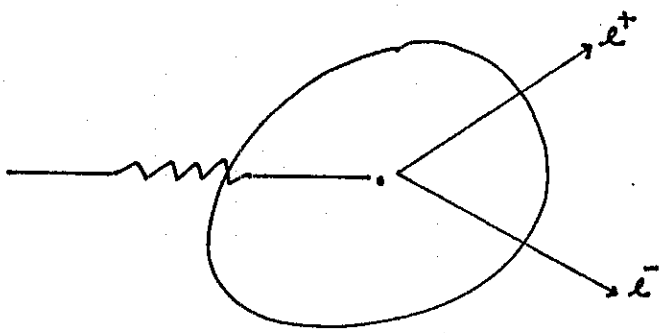
$$hf = \frac{M_oC^2}{1 - \text{Cos } \theta}$$

dan memperlihatkan bahwa energi foton yang dihamburkan hanya tergantung pada sudut hamburan θ.

2.1.3. Efek Produksi Pasangan

Photon, bila berintaeraksi dengan medan listrik sekeliling partikel bermuatan, dapat hilang dan diganti dengan pembentukan pasangan elektron positron. Peristiwa ini hanya terjadi di daerah dekat inti atom. Energi terkecil agar terjadi peristiwa produksi pasangan ialah sama dengan $2M_oC^2$ = 1,02 Mev. Bila energi kinetik elektron dan positron masing-masing T_- dan T_+ maka :

$$hf = T_- + T_+ + 2\, M_oC^2 \qquad (8)$$



Gbr. 3 : Peristiwa Produksi Pasangan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Produksi pasangan banyak terjadi pada foton berenergi tinggi (E $\geq$ 1,02 Mev) dan dalam materi dengan Z tinggi.

2.2. Sifat Atenuasi Materi

Pengertian sifat atenuasi suatu materi adalah kemampuan materi tersebut untuk menyerap ataupun mengurangi intensitas radiasi yang datang mengenai permukaan materi tersebut. Sifat ini sering juga disebut sabagai sifat absorbsi terhadap radiasi. Pengetahuan mengenai sifat atenuasi suatu materi sangat penting dalam hubungannya dengan pemilihan serta pemakaian bahan pelindung (shielding material) terhadap zarah radiasi.

Hilangnya tenaga foton gamma (γ) setelah melalui materi adalah akibat dari interaksi radiasi nuklir yang datang dengan materi tersebut. Berdasarkan uraian sebelum-nya, maka hilangnya tenaga foton gamma (γ) disebabkan oleh tiga proses utama yaitu : efek fotolistrik, efek hamburan Comton dan efek produksi pasangan. Dengan demikian maka ketiga macam proses tersebut akan mem-pengaruhi kemampuan menyerap radiasi yang datang atau mempengaruhi sifat atenuasinya. Oleh karena itu koefisien atenuasinya atau koefisien absorbsi suatu materi terdiri atas semacam tiga koefisien atenuasi,

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

yaitu : [9]

$$\mu = \mu_f + \mu_c + \mu_{pp}$$

Dimana : μ = Koefisien atenuasi total linier

μ_f = Koefisien atenuasi karena efek fotolistrik

μ_c = Koefisien atenuasi karena efek Compton

μ_{pp} = Koefisien atenuasi karena efek produksi pasangan

Atau dapat dilukiskan bahwa :

$$\mu = \rho \frac{N}{A} (\sigma_f + \sigma_c + \sigma_{pp}) \qquad (10)$$

Dimana :

ρ = Berat jenis materi

N = Bilangan Avogadro ($6{,}0225 \times 10^{23}$)

A = Bilangan massa atom

σ_f = Penampang lintang untuk efek foto-listrik

σ_c = Penampang lintang untuk efek Compton

σ_{pp} = Penampang lintang untuk efek produksi pasangan

Adapun harga masing-masing penampang lintang dirumuskan sebagai berikut : [7]

$$\sigma_f = \sigma_T \frac{Z^5}{137^4} \, 2\sqrt{2} \left[\frac{hf}{MC^2}\right]^{-7/2} < Cm^2 > \qquad (11)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dimana :

σ_T = Penampang Lintang Thomson (0,66x 10^{-24} Cm^2 per elektron)

hf = energi foton

MC^2 = Energi elektron foton

Z = Nomor ataom

$$\sigma_c = 2\pi\, r_e^2 \left[\frac{1+\alpha}{\alpha^2} \left[\frac{2\,(1+\alpha)}{1+2\alpha} - 1/\alpha \ln\,(1+2\alpha) \right] + 1/\alpha \ln\,(1+2\alpha) - \frac{1+2\alpha}{(1+2\alpha)^2} \right] \quad < Cm^2 > \quad (12)$$

Di mana :

r_e = jari-jari elektron (2,8 x 10^{-13} Cm)

$$\alpha = \frac{hf}{MC^2}$$

Untuk $\alpha >> 1$ dapat dirumuskan sebagai berrikut :[4)]

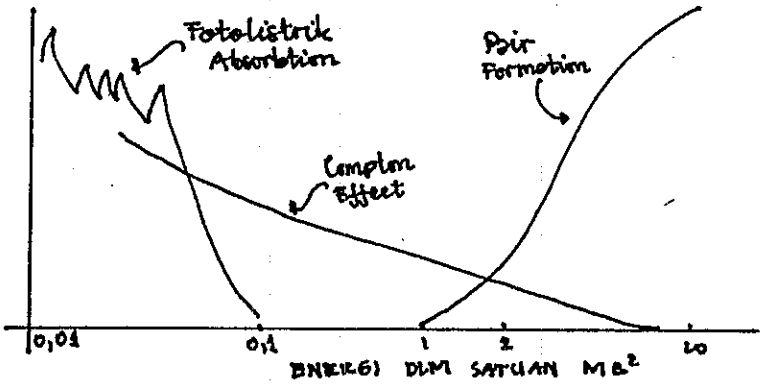
$$\sigma_c = \frac{3}{8}\,\sigma_T .\ 1/\alpha\,(\ln 2\alpha + \tfrac{1}{2})$$

$$\sigma_{pp} = Z^2/137\ r_e^2 \left[\frac{28}{9} \ln \frac{183}{Z^{1/3}} - \frac{2}{27} \right] <Cm^2>$$

$$hf >> MC^2 \qquad (13)$$

Hubungan antara ketiga koefisien atenuasi tersebut, sehingga merupakan ciri-ciri umum atenuasi sebagai fungsi energi, seperti tampak pada gambar 4.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gbr. 4 : Ciri-ciri umum absorbsi atau atenuasi sebagai fungsi suhu

Mengenai satuan untuk koefisien atenuasinya adalah sebagai berikut :

Koef. atenuasi	Hubungan	Satuan Koef. atenuasi	Satuan tebal materi
linier = μ	-	Cm^{-1}	Cm
Massa = μ_m	μ/ρ	Cm^2 /gr	gr/cm^2

Untuk atenuasi massa suatu materi campuran (mixtures of material)adalah jumlah dari koefisien etenuasi massa masing-masing unsur penyusunnya. Sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :[1)]

$$\mu/\rho = W_1 (\mu/\rho)_1 + W_2 (\mu/\rho)_2 + \ldots\ldots \quad (14)$$

<u>Dimana :</u> W_1 = Fraksi massa materi

$(\mu/\rho)_i$ = Koeffisien atenuasi massa elemen penyusun materi

Berkurangnya intensitas radiasi setelah melalui materi adalah mengikuti persamaan sebagai berikut yang bersifat eksponensial :

$$I = I_o . e^{-\mu x} \quad , x = \text{tebal materi} \quad (15)$$

<u>Di mana :</u> I = Intensitas mula-mula

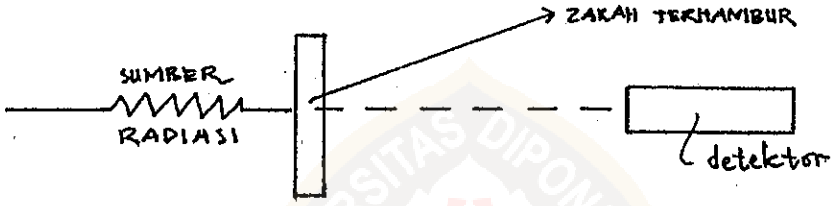
I_o = Intensitas setelah melalui materi.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Pemakaian persamaan di atas dengan anggapan bahwa :

- Berkas zarah-zarah radiasi yang datang dianggap sejajar
- zarah radiasi yang datang dianggap monokromatis

Di samping itu pemakaian persamaan (15) sebenarnya hanya sesuai untuk materi penyerap yang tipis. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan zarah radiasi yang terhambur yang dapat mencapai detektor adalah kecil, seperti yang tampak pada gambar 5.



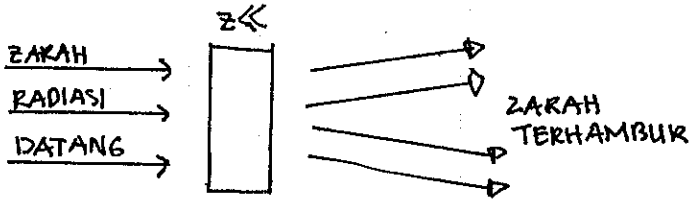
Gbr. 5 Zarah radiasi terhambur pada materi tipis

Sedangkan materi penyerap yang tebal, zarah radiasi yang terhambur masih mungkin untuk mencapai detektor, seperti tampak pada gambar 6.[6)]

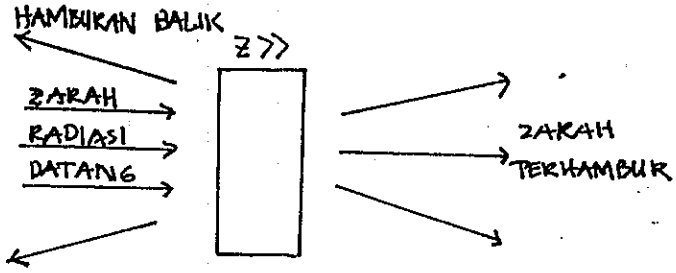
Gbr 6. Zarah radiasi terbentur pada materi tebal

Mengenai zarah radiasi yang terhambur tersebut masih ditentukan juga oleh nomor atom Z dari materi yang dikenai radiasi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gabar 7.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gbr. 7. Zarah radiasi terhambur pada materi dengan Z kecil



Gbr. 8. Zarah radiasi terhambur pada materi dengan Z besar

Dari gambar di ats tampak bahwa untuk materi dengan Z kecil zarah yang terhambur lebih banyak dibandingkan dengan yang terjadi pada materi dengan Z besar. Pada materi dengan Z besar banyak terjadi hamburan balik (back scattering).

Dalam analisa di atas dianggap bahwa zarah radasi hanya bertenaga tunggal. Dalam keadaan sesungguhnya sudah tentu ada variasi tenaga radiasi. Hal ini bisa diperhitungkan dengan memperhitungkan pengaruh semua tingkat tenaga radiasi. Cara ini menjadi sulit, pertama karena adanya pengaruh radiasi sekunder yang timbul sebagai hasil interaksi antara materi dengan radiasi primer dan kedua, karena adanya atenuasi geometri yang tergantung pada macam dan ukuran bahan. Dalam hal radiasi gamm (γ), radiasi sekunder timbul sebagai hasil hamburan compton dan produksi pasangan.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Maka dari itu, dihasilkan radiasi se-kunder dengan berbagai tingkat energi. Disamping itu, selama perjalanannya dalam suatu materi, radiasi primer dan sekunder yang mengalami hamburan dan dapat berubah arah geraknya. Hal ini dapat menimbulkan atenuasi geometri. Oleh karena itu, untuk memperoleh hasil yang mendekati tepat maka persamaan (15) perlu dikoreksi dengan suatu faktor yang disebut " Build Up Factor ". Build Up Factor ini merupakan fungsi jenis dan tebal materi penye-rap serta besarnya tenag radiasi yang datang. Setelah dikoreksi, persamaannya menjadi :

$$I = B\ I_o\ e^{-\mu x} \qquad (16)$$

Di mana, B = Build Up Factor

Persamaan (16) dapat dituliskan untuk menghitung besarnya flux dengan tetap memasukkan harga B sebagai fungsi (μx) berikut ini :

$$\Phi\ (x) = B\ (\mu x)\ .\ (\Phi_o)\ .\ e^{-\mu x} \qquad (17)$$

Harga B untuk tenaga foto antara 0,5 sampai 6,0 Mev sebagai fungsi (μx) dari 1 sampai 20 dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1.Buil Up Factor .....

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

MATERIAL	E_γ (MeV)	μr 1	2	4	7	10	15	20
Water	0.255	3.09	7.14	23.0	72.9	166	456	982
	0.5	2.52	5.14	14.3	38.8	77.6	178	334
	1.0	2.13	3.71	7.68	16.2	27.1	50.4	82.2
	2.0	1.83	2.77	4.88	8.46	12.4	19.5	27.7
	3.0	1.69	2.42	3.91	6.23	8.63	12.8	17.0
	4.0	1.58	2.17	3.34	5.13	6.94	9.97	12.9
	6.0	1.46	1.91	2.76	3.99	5.18	7.09	8.85
Iron	0.5	1.98	3.09	5.98	11.7	19.2	35.4	55.6
	1.0	1.87	2.89	5.39	10.2	16.2	28.3	42.7
	2.0	1.76	2.43	4.13	7.25	10.9	17.6	25.1
	3.0	1.55	2.15	3.51	5.85	8.51	13.5	19.1
	4.0	1.45	1.94	3.03	4.91	7.11	11.2	16.0
	6.0	1.34	1.72	2.58	4.14	6.02	9.89	14.7
Lead	0.5	1.24	1.42	1.69	2.00	2.27	2.65	2.73
	1.0	1.37	1.69	2.26	3.02	3.74	4.81	5.86
	2.0	1.39	1.76	2.51	3.66	4.84	6.87	9.00
	3.0	1.34	1.68	2.43	3.75	5.30	8.44	12.3
	4.0	1.27	1.56	2.25	3.61	5.44	9.80	16.3
	6.0	1.18	1.40	1.97	3.34	5.69	13.8	32.7

[a]Values taken from the *Radiological Health Handbook*, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, January 1970.

Tabel 1.Buil Up Factor

Dengan memakai daftar di atas harga B dapat ditentukan dan dapat digunakan untuk menentukan flux. tenaga foton atom intensitas radiasi yang teramati.

2.3. Pengaruh Perubahan Suhu Pada Materi

Molekul-molekul atau atom-atom dalam materi zat padat terikat erat di tempatnya masing-masing dengan gaya molekuler sehingga membentuk suatu kristal. Masing-masing partikel melakukan getaran harmonis (vibrasi) di sekitar titik setimbangnya. Pada dasarnya makin tinggi temperatur benda. makin

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

hebat getaran-getaran molekuler tersebut, bahkan bila suhu benda mencapai titik leburnya, susunan kristal menjadi rusak karena sangat hebatnya getaran. Sehingg dalam keadaan ini zat berubah ujud dari padat menjadi cair.

Pengaruh pemanasan pada materi zat padat bertambahnya getaran-getaran atom, sebagai akibatnya. Atom-atom materi tersebut bergetar dengan panjang gelombang tertentu. Frekwensi getaran atom-atom kisi kristal suatu materi akan mencapai maskimum pada suatu suhu tertentu yang disebutsuhu Debye. Frekwensi getaran tersebut berkisar 10^{13} - 10^{14} siklus perdetik. Materi dengan harga Z besar mempunyai frekwensi yang lebih rendah dibandingkan dengan materi yang mempunyai harga Z kecil. Di samping itu, tenaga ikat antara atom-atom dalam kristal juga mempengaruhi frekwensi getaran atomnya; sehingga kemungkinan tumbukan antara zarah radiasi yang datang dengan atom-atom materi yang mempunyai harga Z kecil akan lebih besar daripada materi yang mempunyai harga Z besar. Adapun hubungan antara frekwensi maksimum getaran atom-atom kisi kristal dengan suhu Debye mengikuti persamaan berikut :[8)]

$$\theta_d = \frac{\hbar W_d}{k} \quad \text{atau} \quad W_d = \frac{k\,\theta_d}{\hbar} \qquad (18)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dimana :

W_d = Frekwensi getaran maksimum

θ_d = Suhu Debye

$\hbar$ = $h/2\pi$

k = $2\pi/$

h = Konstanta Planck

= Panjang gelombang

Atom-atom mempunyai kisi kristal bergetar dengan panjang gelombang minimum

$$\lambda_m = \frac{2\pi}{(6\pi^2)^{1/3}} \; v^{1/3} \qquad (19)$$

Dimana V = Volume atom

Dengan demikian pada pemanasan materi maka pengaruhnya akan terasa pada getaran-getaran atomnya. Mengingat bahwa kemungkinan tumbukan antara zarah radiasi dengan materi dipengaruhi oleh frekwensi getaran atom-atom kisi kristal, maka hal ini akan berpengaruh juga pada sifat atenuasi materi tersebut. Dengan mengetahui suhu Debye suatu jenis materi, dapat diketahui seberapa jauh pengaruh pemanasan pada sifat atenuasinya. Bila pemanasan dilakukan sampai lebih tinggi dari suhu Debye, maka kemungkinan perubahan sifat atenuasinya tidak dipengaruhi lagi oleh getaran atom karena frekwensi getarannya sudah mencapai maksimum pada suhu Debye-nya. Pengaruh lain pada perubahan sifat

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

atenuasi disebabkan juga oleh angka muai atau titik leburnya. Panas yang berlebihan dapat merusakkan susunan atom-atom kisi kristal yang dimulai dengan pelapisan elektron-elektron pada kulit atomnya, Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa perubahan suhu akan mengakibatkan perubahan sifat atenuasi suatu materi.

Jika ditinjau secara keseluruhan materinya, maka suatu materi zat padat yang dipanasi akan mengalami pemuaian. Angka muai untuk setiap jenis materi dapat dipakai untuk menentukan perubahan panjang atau volume materi akibat pemanasan, dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_t = V_o\ (1 + 3\alpha.\Delta T) \qquad (20)$$

Dimana :

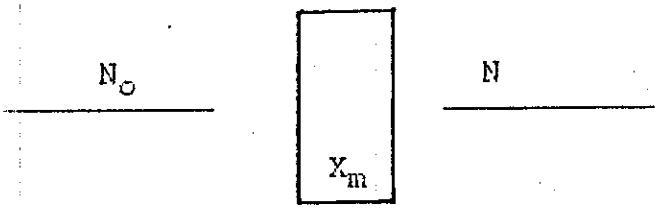
V_t = Volume pada keadaan suhu t

V_o = Volume pada keadaan suhu t_o

α = Angka muai panjang (Thermal Expantion)

ΔT = Perubahan suhu = $t - t_o$

Bila materi mengalami muai ruang karena naiknya suhu, maka kejadian ini dapat mempengaruhi sifat atenuasinya terhadap radiasi sinar gamma yang datang, seperti tampak pada penjabaran berikut :



This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Zarah radiasi sinar gamma se-telah melalui materi akan memberikan jumlah zarah per satuan waktu yang akan mengikuti persamaan eksponensial

$$I_t = I_o \cdot e^{-\mu_m x_m}$$

Dimana :

N = Jumlah cacah per satuan waktu setelah melalui materi

N_o = Jumlah cacah per satuan waktu sebelum melalui materi

ρ = Rapat jenis materi

μ_m = Koefisien atenuasi massa

Dalam hal ini massa dianggap tetap, tidak berubah karena kenaikan suhu dan volume berubah sebagai fungsi suhu seperti yang dinyatakan dalam persamaan (20), maka :

$$\rho_t = \frac{W}{V_o\ (1+3\alpha.\Delta t)} = \frac{\rho_o}{(1+3\alpha.\Delta t)}$$

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho_t} = \frac{\mu}{\rho_o/\ (1+3\alpha.\Delta t)}$$

$$= (1+3\alpha.\Delta t)\ \frac{\mu}{\rho_o}$$

Jadi, $N = N_o\ e^{-((1+3\alpha.\Delta t)\mu/\rho_o\ .x_m}$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dengan adanya pengaruh suhu pada materi, maka elektron-elektron dalam atom materi tersebut mendapat tambahan energi kinetik sebesar $\delta E = 3/2\ kT$. Sehingga persamaan (15) menjadi

$$I_t = I_o \cdot e^{-\mu_t x_t}$$

Dimana :

$$x_t = x\ (1 + \alpha ?T)$$

$$\mu_t = \rho_t \frac{N}{A} (\sigma_t)$$

$$\rho_t = \frac{\rho_o}{(1+3\alpha.\Delta T)}$$

Kalau dilihat dari persamaan (10) sampai persamaan (15) kemungkinan pengaruh suhu hanya terjadi penampang lintang efek fotolistrik dan efek Compton. Di samping itu memang tenag radiasi hanya 0,662 Mev, sehingga efek produksi pasangan tidak akan terjadi.

$$\sigma = \sigma_d + \sigma_c \quad , \sigma_t = \sigma_{dt} + \sigma_{ct}$$

$$\delta E = 3/2\ k.T$$

$$\sigma_{ft} = \sigma_T \frac{Z^s}{137^4}\ 2\sqrt{2}\ \frac{hf}{MC^2}\ -7/2$$

$$R_1 = \frac{\sigma_{ft}}{\sigma_f} = \left[\frac{hf}{hf + 3/2\ kT} \right]^{7/2} \quad , \sigma_{ft} = R_2 . \sigma_f$$

$$\sigma_{ct} = \frac{3}{8} \sigma_T \frac{MC^2}{hf+\delta E} \left[\ln 2 \frac{hf + 3/2\ kT}{MC^2} + 1/2 \right]$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$R_2 = \frac{\sigma_{ct}}{\sigma_c} = \frac{hf}{hf+\delta E}\left[\frac{\ln 2\,\frac{hf + 3/2\ kT}{MC^2} + 1/2}{\ln 2\,\frac{hf}{MC^2} + 1/2}\right]$$

$\sigma_{ct} = R_2 \cdot \sigma_c$

$\sigma_t = \sigma_{ft} + \sigma_{ct}$

$= R_1 \cdot \sigma_f + R_2 \cdot \sigma_c$, $\sigma_t < \sigma$, maka

$R = \sigma_t/\sigma \longrightarrow R \cdot \sigma = \sigma_t$, untuk $3/2\ k.T \ll h$,

maka

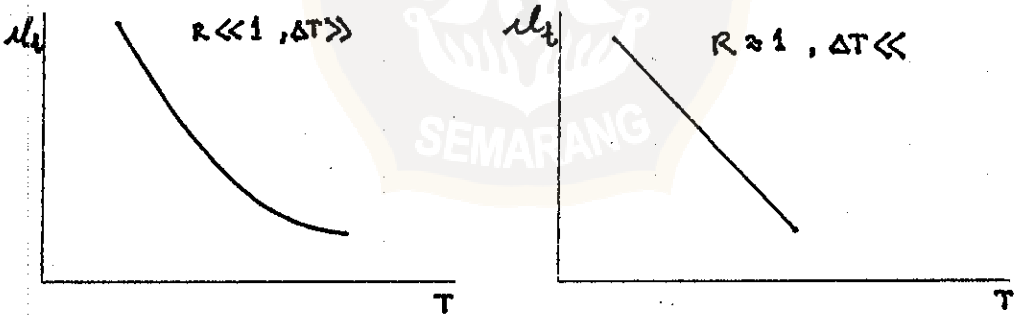
$$R_1 \approx R_2 \approx R \approx 1$$

jadi

$$\mu_t = \frac{\rho_o}{(1+3\alpha.\Delta T)}\,\frac{N}{A}\,(R_1 \cdot \sigma_f + R_2 \cdot \sigma_c)$$

$$\mu_t = \frac{\rho_o}{(1+3\alpha.\Delta T)}\,\frac{N}{A}\,(R.\sigma) = \frac{R \cdot \mu}{(1+3\alpha.\Delta T)} \qquad (23)$$

Kurva dari persamaan tersebut adalah sebagai berikut :



Gbr. 9. Koefisien atenuasi sebagai fungsi suhu

Kemudian,

$$I_t = I_o \cdot e^{-\mu_t x_t} = I_o \cdot e^{-\mu x \frac{R(1 + \alpha.\Delta T)}{(1 + 3\alpha.\Delta T)}}$$

$$\ln\left[\frac{I_o}{I_t}\right] = \mu_t \cdot x_t$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$\ln\left[\frac{I_o}{I}\right] = \mu.\ x$$

$$\ln\left[\frac{I_o}{I_t}\right] = \ln\left[\frac{I_o}{I}\right]\frac{R\ (1 + \alpha.\Delta t)}{(1 + 3\alpha.\Delta t)}$$

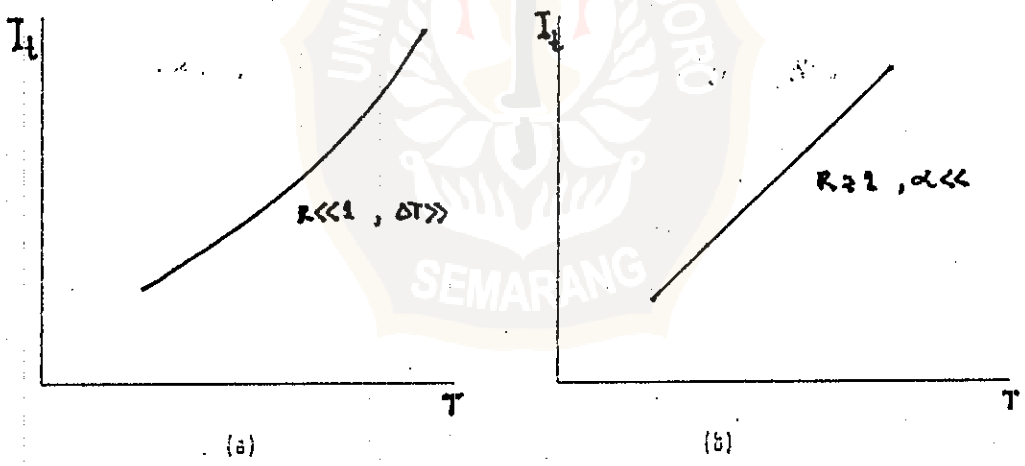
$$\frac{I}{I_t} = \frac{R\ (1 + \alpha.\Delta t)}{(1 + 3\alpha.\Delta t)}$$

$$I_t = \frac{I\ (1 + 3\alpha.\Delta T)}{R\ (1 + \alpha.\Delta T)}$$

Untuk $\alpha \approx 10^{-6}$, maka $\dfrac{(1 + 3\alpha.\Delta T)}{(1 + \alpha.\Delta T)} = (\ 1+2\alpha.\Delta T\ )$

dan $R \approx 1$, sehingga $I_t = I\ (\ 1+2\alpha.\Delta T\ )$ ..... (24)

Maka bentuk kurva dari persamaan tersebut di atas adalah garis linier.



Gbr. 10. Cacah rat-rata sebagi fungsi suhu

<u>Keterangan :</u>

μ = Koefisien atenuasi linier

$\mu_t = \mu_{(T)} = \mu$ sebagai fungsi suhu

$I_t = I_{(T)} = I$ sebagai fungsi suhu

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

σ = Penampang lintang total

σ_f = Penampang lintang efek fotolistrik

σ_c = Penampang lintang efek compton

σ_{pp} = Penampang lintang efek produksi oasangan

σ_T = Penampang lintang Thomson

hf = Energi zarah radiasi (foton)

MC^2 = Energi elektron diam

α = Koefisien muai panjang

= Massa jenis materi

?T = Perubah suhu = $T - T_o$

I = Intensitas radiasi setelah menembus materi setebal x

I_o = Intensitas radiasi sebelum menembus materi setebal x

Dari persamaan-persamaan tersebut di atas jelaslah bahwa sifat atenuasi materi dapat dipengaruhi oleh perubahan suhu. Seberapa jauh pengaruh suhu pada sifat atenuasi materi zat padat dalam hal ini beton, dapat dilihat dari hasil eksperimen.

2.4. Beton sebagai pelindung (Shielding) Radiasi

Pada beton ringan (ordinary concrete) dengan massa jenis dan nomor atom yang relatif kecil memang kurang baik untuk pelindung sinar gamma. Pelindung yang lenih tipis dapat dicapai dengan menggunakan agregat padat (dense aggegate), misal-

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

nya magnetite (batu/besi berani) . limonate iron ore (bijih besi limonate), barytes (bijih barium) dan iron punching (tempaan besi). Namun agregat padat beton tersebut jauh lebih mahal baik dalam segi material maupun instalasi.

Beton ringan dibuat dari semen portland, agregat kasar (batu pecah, kerikil), agregat halus (pasir) dan air. Perbandingan standar adalah 1 bagian semen, 2 bagian pasir dan 4 bagian agregat kasar oleh perbandingan volume, dengan 0,53 liter air per kilogram semen. Beton ringan kira-kira bermassa jenis 2,3 gr/Cm^3 dan komposisi massa persennya adalah : Oxygen (52,9), Silicon (33,7), Calsium (4,4) Aluminium (3,4), Sodium (1,6), Iron (1,4),Potassium (1,3), Sodium Magnesium (0,2) dan carbon (0,1). Sedang beton berat dibuat dari agregat besi kasar dan pasir limonite. Massa jenis beton berat kira-kira 4,2 gr/cm^3 dan komposisi massa persennya adalah : besi (72,1), Oxygen (18,0), Calsium (6,1), Manganese (1,6) , Silicon (1,4), Aluminium (0,5), Magnesium (0,2) Sulfur (0,1), dan hidrogen (0,05). Boron dapat ditambahkan untuk menekan dan menghambat radiasi sinar gamma dalam bentuk boron karbid, boron frits (kue) atau glass, boron yang dapat pecah atau larut dalam air atau semen, atau sebuah agregat berisi boron seperti colemanite. Kira-kira 1 % boroncukup, terlalu

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

banyak boron dapat memperlambat pemasangan.

Tabel 2 : Sifat-sifat beton ringan dan beton berat

Property	Ordinary	Heavy
Density (g cm^{-3})	2.2 to 2.4	3.7 to 4.8
Effective atomic number	11	∿26
Hydrogen concentration (atoms cm^{-3})	0.8 to 2.4 × 10^{22}	
Specific heat (J g^{-1} $°C^{-1}$)	0.8	
Thermal conductivity (J cm^{-1} s^{-1} $°C^{-1}$)	0.01	0.1
Coefficient thermal expansion ($°C^{-1}$)	8 × 10^{-6}	
Compressive strength (psi)	3500 to 6000	
Tensile strength (psi)	<500	
Elastic modulus (psi)	2 × 10^{5}	
Maximum temperature (°C)	93.0	
Maximum heating rate (mW cm^{-3})	1.0	
Maximum temperature rise (°C)	6.0	
Maximum temperature gradient (°C cm^{-1})	0.8	
Radiation damage	negligible	
Thermal-neutron activation	small	large
Approximate cost ($ per m^3)	200	1200
($ per kg)	0.09	0.52

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Beton biasanya dituangkan dalam suatu cetakan. Dalam mencetak harus berhati-hati dan teliti agar tidak terjadi rongga-rongga yang akan mengurangi sifat atenuasi beton. Cairan dalam membuat beton harus cukup agar dapat memenuhi ruang cetakan secara merata. Kekuatan beton akan naik selama perawatan sampai kira-kira 80 % dari akhir kekuatan dalam 28 hari. Untuk kekuatan dan penyimpanan air secara maksimum, beton dijaga kebasahannya sekurang-kurangnya 7 hari, dan lebih baik 28 hari. Untuk itu perlu dilindungi dengan karung goni yang lembab atau serbuk gergaji.

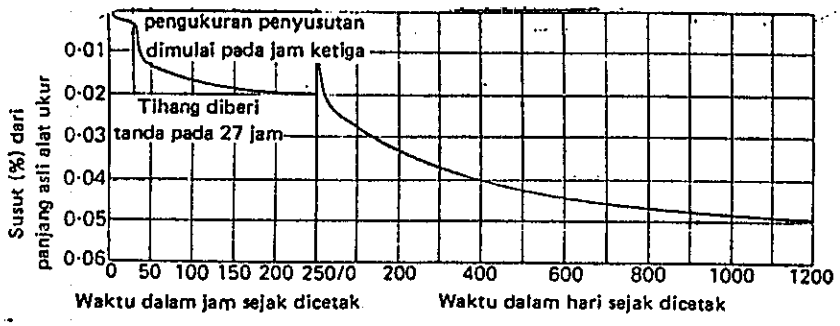
Tekanan suhu dapat menyebabkan retak-retak, yang akan mempengaruhi kemampuan beton sebagai pelindung radiasi. Batas gradien temperatur adalah 0,8 ^{o}C per Cm sehingga terhindar dari kerusakan karena tekanan suhu. Adapun sifat-sifat dari beton ringan dan beton berat tertera dalam tabel 2.[2)]

Pengaruh suhu

Bilaman suhu dari beton meningkat oleh suatu pemanasan, kadar air lepas dari"gel" semen dan terjadilah penyusutan kering . Sesudah pemuaian suhu awal, beton yang dipanasi cenderung menyusut sampai pada suatu tingkatan tertentu, dan pengeringan selanjutnya juga terjadi secara berangsur-angsur. Sebagai hasilnya adalah

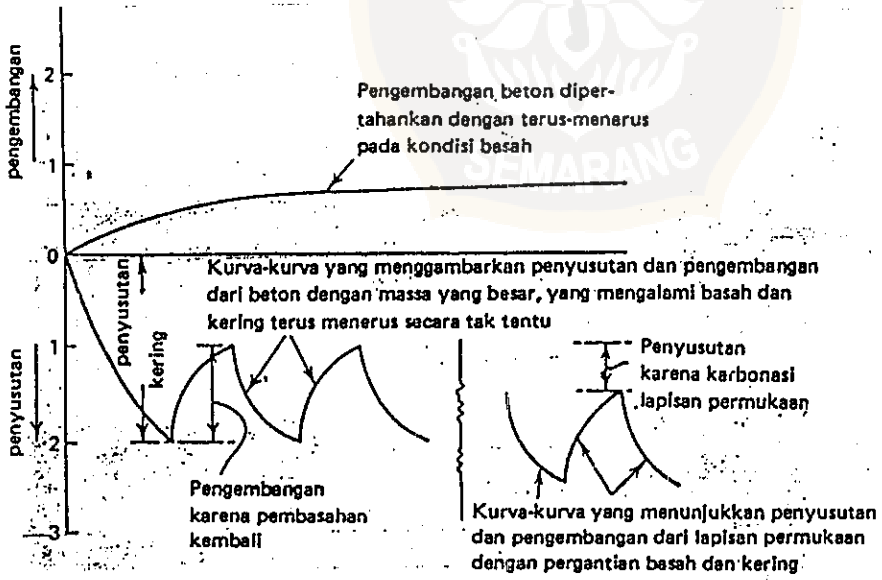
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

kondisi tegangan dalam beton sebagai akibat perubahan suhu. Adapun diagram dari adanya perubahan suhu dan penyusutan kering tampak pada gambar 11.[5)]



Gbr. 11. Contoh dari penyusutanbeton

Penyusutan yang terjadi ketika beton mengeras dan kering disebabkan oleh penyusutan dari "gel" semen dan sebagian tak dapat kembali karena pada pembasahan selanjutnya beton mengembang dan mengalami kebalikan dari penyusutan praktis dan pengembagan. Gerakan-gerakan ini digambarkan pada gambar (12).



Gbr. 12. Pergerakan penyusutan kering dan pengembangan karena pembasahan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)