

PENGGUNAAN PASIR BESI DARI KULON PROGO DENGAN BERAT JENIS 4,311 UNTUK MORTAR PERISAI RADIASI SINAR GAMMA

Hendra Putra¹⁾, Iman Satyarno²⁾, Agus Budhie Wijatna³⁾

¹⁾ Dinas PU Kota Padang Panjang, Jl. Soekarno Hatta Kota Padang Panjang

²⁾ Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik UGM – Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta

³⁾ Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik UGM – Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta

ABSTRACT

The radiation effects of radiology and x-rays equipments do not only give excellent benefit for human, but also harmful effect at the same time. Protecting people from the radiation is an important aspect to control such harmful effect. Hence every nuclear installation and radiology unit must pay attention on protecting surrounding people from the radiation. Lead is commonly used as component of shield, but the use of lead requires special work and energy. In economical aspects, the cost of such effort is relatively expensive, but in workability aspects, the application of iron sand mortar can be used as alternative material to protect from radiation.

This study assessed gamma radiation absorption on mortar cube sample with dimension of 15 x 15 cm and thickness variation of 1 cm to 15 cm. Mortar ingredient consisted of iron sand, cements and water, with cements - iron sand volume ratio of 1 : 6. Water cement ratio was determined at 0,4 and the gamma radiant energy applied were Iodine-131 (¹³¹I) denergi 284,00 keVs, 364,00 keVs, 637,00 keVs and Caesium-137 (¹³⁷Cs) dissociation energy of diatomic 662,00 keV.

Physical test gradation conducted to iron sand from Congot beach Kulonprogo regency of Daerah Istimewa Yogyakarta Province, showed specific gravity of 4,331 with, Ssd specific gravity of 4,330, unit weight of 2,554 gr/cm³, water absorbency 0,442%, and grain finest modulus of 1,33, which was categorized as zone IV (smooth gradation). Compressive strength and specific gravity of Iron sand mortar at 28 days reached 7,92 MPa and 2,59 respectively. Especially, specific gravity was heavier than ordinary cements mortar with average value ranged from 1,80 - 2,20. Coefficient linear magnitude attenuation (μ) of iron sand mortar at radiation energy 284 keVs, 364 keVs, 637 keVs and 662 keVs were 0,2816 cm⁻¹, 0,2253 cm⁻¹, 0,1297 cm⁻¹ and 0,1003 cm⁻¹ respectively. Based on these relation, the line equation obtained was $y = 0,5631e^{(-0025X)}$.

Keywords: Radiation shield, iron sand, mortar, Coefficient attenuation

PENDAHULUAN

Radiasi peralatan radiologi dan sinar-x, disamping memberikan manfaat yang sangat besar juga berpotensi memberikan efek merugikan.

Proteksi radiasi merupakan aspek yang sangat penting dalam pengendalian efek merugikan. Oleh sebab itu setiap instalasi nuklir dan unit radiologi harus memperhatikan tentang proteksi radiasi untuk melindungi pekerja radiasi dan masyarakat umum.

Timah hitam (Pb) biasa digunakan sebagai bahan perisai, tetapi penggunaan timbal memerlukan pekerjaan khusus dan tenaga khusus untuk melaksanakannya. Dari segi biaya harganya relatif

mahal. Dari segi ekonomi dan kemudahan pekerjaan, penggunaan mortar pasir besi dapat diharapkan menjadi alternatif dalam bidang proteksi radiasi.

The National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) dalam publikasinya nomor 49 tahun 1976 menyatakan material bangunan yang didasarkan pada kadar mineralnya terutama yang memiliki berat jenis (ρ) dan nomor atom (z) tinggi, dapat digunakan sebagai bahan perisai radiasi.

Agregat berat alami dengan kandungan utama mineral hematit, ilmenit, magnetit dan barit merupakan agregat yang baik digunakan untuk penahan radiasi (SNI-03-2494-2002).

Pasir besi adalah agregat yang mempunyai berat jenis tinggi sekitar 4,2 – 5,2. Secara umum pasir besi terdiri dari mineral opak yang bercampur dengan butiran-butiran non logam seperti ; kuarsa, kalsit, feldspar, ampibol, piroksen, biotit dan tourmalin. Mineral tersebut terdiri atas magnetit, titaniferous magnetit, ilmenit, limonit, & hematite. Kandungan besi yang terdapat pada endapan pasir besi yang utama adalah mineral tetanomagnetik, adapun komposisinya: Fe 60%, Al_2O_3 3,3%, SiO_2 0,26%, P_2O_5 0,55%, TiO_2 9,2%, MgO 0,6%. Biji besi dalam bentuk endapan pasir besi dengan kadar Fe sekitar 38-59%. (Totok & Gautama, dalam Sumarni, 2006). Agregat ini banyak terdapat di pantai Congot Kabupaten Kulonprogo Prop. D.I Yogyakarta, dan belum dimanfaatkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan mortar pasir besi dengan faktor air semen 0,4 perbandingan 1 semen ; 6 pasir besi dalam menahan radiasi gamma dan membandingkannya dengan mortar pasir biasa.

TINJAUAN PUSTAKA

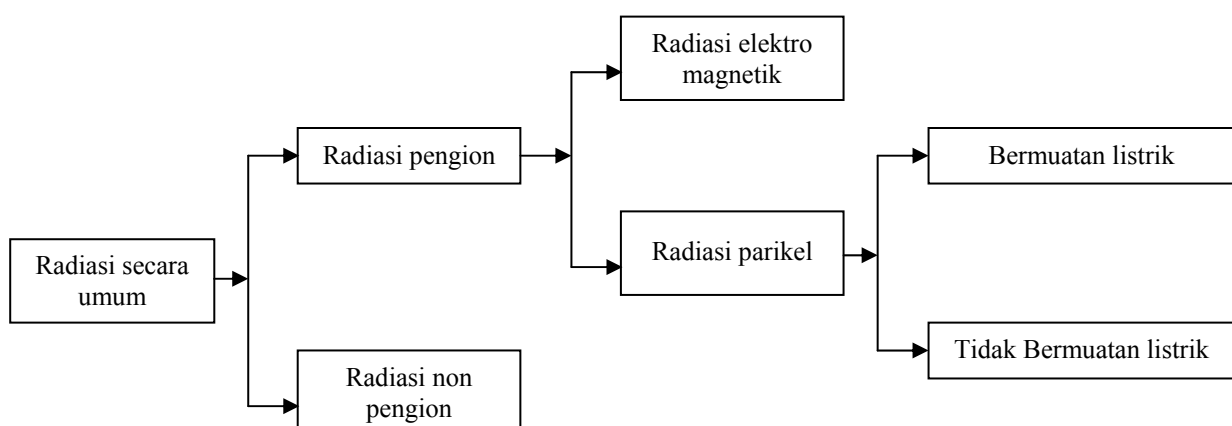
Beton perisai radiasi adalah komponen struktur beton yang diperlukan pada kegiatan yang berhubungan dengan radiasi pengion dan radiasi neutron untuk melindungi manusia dari penyinaran berlebihan. Agregat berat alami dengan kandungan utama mineral hematit, ilmenit, magnetit dan barit merupakan agregat yang baik digunakan untuk penahan radiasi (SNI-03-2494-2002).

Beton kerapatan tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan agregat yang mempunyai berat jenis tinggi. Agregat alami magnetit, barit, limonit dan agregat buatan berupa butiran baja (*steelshot*), umum dipakai sebagai beton perisai radiasi dalam struktur reaktor atom (Raju, 1983).

Mortar adalah adukan yang diperoleh dengan mencampurkan sejumlah air pada adukan kering yang terdiri dari pasir atau agregat halus dengan bahan pengikat seperti tanah liat, kapur, atau semen.

Mortar mempunyai kuat tekan yang bervariasi sesuai dengan bahan penyusunnya dan perbandingan antara bahan-bahan penyusunnya. Pada umumnya kuat tekan mortar semen berkisar antara 3-17 MPa. Mortar semen mempunyai berat jenis antara 1,80 – 2,20. (Tjokrodinuljo, 2004).

Radiasi dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu radiasi pengion dan radiasi non pengion. Radiasi pengion adalah, radiasi yang dapat mengionisasi atom-atom materi yang dilalui. Secara garis besar radiasi pengion dibagi menjadi dua yaitu radiasi elektromagnetik & radiasi partikel. Radiasi partikel juga terbagi dua yaitu radiasi partikel bermuatan listrik dan radiasi tidak bermuatan listrik. Radiasi non pengion merupakan radiasi yang tidak dapat mengionisasi materi yang dilaluinya, misalnya sinar ultraviolet, cahaya matahari, sinar laser, dan lain-lain. Klasifikasi radiasi secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar.1 (Akhadi,2000).



Gambar 1. Klasifikasi Radiasi (Akhadi,2000).

LANDASAN TEORI

Mortar atau spesi adalah adukan yang diperoleh dengan mencampurkan sejumlah air pada adukan kering yang terdiri dari pasir atau agregat halus dengan bahan pengikat seperti tanah liat, kapur, dan semen.

Kuat tekan mortar dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Kuat tekan mortar} = P/A \tag{1}$$

Dimana :

- P = beban maksimum (Newton)
- A = luas penampang benda uji (mm²)

Berat jenis mortar dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Berat jenis mortar} = \frac{A}{B - C} \tag{2}$$

Dimana :

- A = berat mortar kering oven (gr)
- B = berat mortar ssd (gr)
- C = berat mortar dalam air (gr)

Penurunan intensitas radiasi.

Apabila radiasi masuk ke dalam bahan perisai, maka sebagian dari radiasi tersebut akan terserap oleh bahan. Akibatnya, intensitas radiasi yang melewati bahan penyerap lebih kecil diban-

dingkan intensitas semula. Dalam hal ini intensitas radiasi setelah melalui bahan penyerap akan berkurang tetapi energi dari radiasi elektromagnetik yang lolos dari bahan tersebut tidak berkurang, ilustrasi seperti Gambar 2. (Akhadi,2000).

Penyerapan sinar foton radiasi elektromagnetik oleh medium tergantung pada energi foton dan nomor atom yang terkandung dalam perisai. Nilai serapan dinyatakan secara kuantitatif sebagai koefisien attenuasi (μ).

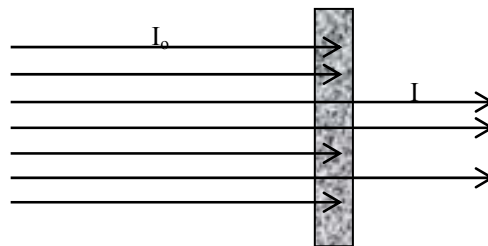
Proses pelemahan radiasi elektromagnetik dalam suatu bahan bersifat eksponensial dihitung dengan Persamaan 3.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{3}$$

dengan:

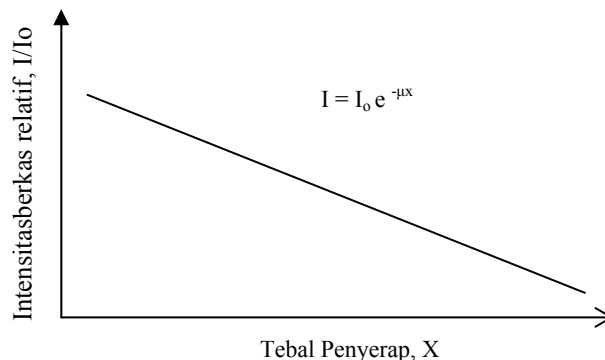
- I = intensitas radiasi setelah melalui perisai radiasi (cacah/waktu)
- I₀ = intensitas radiasi sebelum melalui perisai radiasi (cacah/waktu)
- μ = koefisien attenuasi linier bahan perisai (cm⁻¹)
- x = tebal bahan perisai (cm)

Satuan intensitas radiasi dinyatakan dalam satuan cacah per menit (CPM). Hubungan antara ketebalan dengan intensitas dalam salib sumbu semilog dapat dilihat pada Gambar 3.



Dengan : I = intensitas radiasi elektromagnetik setelah melalui perisai radiasi.
I₀ = intensitas radiasi elektromagnetik sebelum melalui perisai radiasi

Gambar 2. Proses pengurangan Intensitas Radiasi Elektromagnetik oleh Perisai Radiasi (Akhadi,2000).



Gambar 3. Penyerapan Radiasi Elektromagnetik oleh Bahan Perisai digambar dalam kertas semilog (Akhadi,2000).

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : pasir besi, semen, dan air.

Sumber radiasi

Sumber radiasi Sumber radiasi yang digunakan adalah radiasi sinar gamma yaitu Iodine-131 dengan energi 284 keV, 364 keV, 637 keV dan Caesium-137 dengan energi 662 keV.

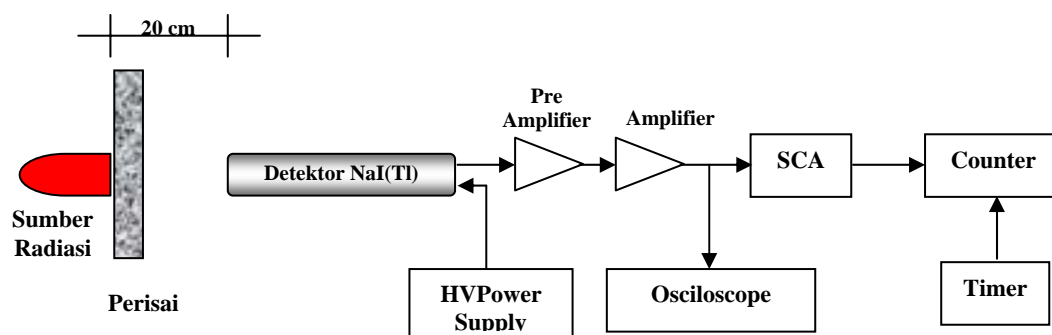
Benda uji

Benda uji untuk kuat tekan dan berat jenis mortar berupa kubus ukuran 50mm x 50mm x 50mm Benda uji untuk pengujian radiasi sinar gamma berbentuk kubus dengan ukuran alas 150mm x 150mm dengan ketebalan mulai dari 10mm sampai 150mm, masing-masing dibuat sebanyak satu buah.

Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk pengujian bahan dasar, pembuatan benda uji maupun pengujian benda uji, antara lain: ayakan, timbangan, mesin *Siever*/pengayak, *mixer concrete*, talam baja, cetakan kubus mortar dan matrik kubus, Gelas Ukur, oven, desikator, picnometer, *Universal Testing Machine* (UTM).

Peralatan yang digunakan untuk pengujian radiasi gamma adalah Satu set rangkaian *Spectroscopy* radiasi gamma-NaI(Tl) yang digunakan untuk mendeteksi radiasi gamma. Skema alat *spectroscopy* radiasi gamma NaI(Tl) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema rangkaian spectroscopy radiasi gamma NaI(Tl).

Data laju cacah atau intensitas radiasi yang diperhitungkan antara lain :

- Data laju cacah latar (*Background Counting*) (I_{cl}).
- Data Laju cacah brutto tanpa perisai (I_{ob})
- Data Laju cacah netto tanpa perisai (I_{on})
- Data Laju cacah brutto setelah melewati perisai (I_b)
- Data Laju cacah netto setelah melewati perisai (I_n) dihitung dari laju cacah brutto (I_b) dikurangi laju cacah latar (I_{cl}).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berat jenis pasir besi didapat 4,311. Berat jenis tersebut tergolong tinggi, hal ini dapat mendasari digunakannya sebagai bahan agregat perisai radiasi sinar gamma. Berat satuan pasir besi diperoleh 2,554 gr/cm³. Penyerapan air SSD 0,422%. Hasil pemeriksaan gradasi masuk dalam daerah IV (sangat halus) diperoleh nilai mhb 1,330.

Perencanaan campuran mortar pasir besi dan pasir biasa dapat dilihat pada Tabel 1.

Kuat tekan mortar pasir besi didapat sebesar 7,92 Mpa, dan mortar pasir biasa sebesar 20,65 Mpa. Hasil kuat tekan mortar dapat dilihat pada tabel 2.

Kuat tekan mortar dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah gradasi butir, fas, jumlah semen, umur, perbandingan campuran dan lain sebagainya.

Berat jenis mortar pasir besi 2,59 dan mortar pasir biasa 2,08 lebih lengkap hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Kebutuhan bahan per M³ mortar pasir besi dan pasir biasa dengan fas 0,4 perbandingan campuran 1 : 6

No	Jenis mortar	fas	Perbandingan volume	Berat (kg)		
				Air	Semen	Pasir
1	Pasir besi	0,40	1 : 6	112	280	3.440
2	Pasir biasa	0,40	1 : 6	111	277	2.491

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tekan mortar pasir besi dan pasir biasa.

No	Mortar	Perban dingan	fas	Kuat tekan (Mpa)	Kuat tekan rerata (Mpa)
1	Pasir Besi	1 : 6	0,40	6,61	7,92
		1 : 6		7,90	
		1 : 6		9,32	
		1 : 6		7,06	
		1 : 6		7,76	
		1 : 6		8,89	
2	Pasir Biasa	1 : 6	0,40	24,3	20,65
		1 : 6		24,4	
		1 : 6		20,6	
		1 : 6		19,1	
		1 : 6		18,8	
		1 : 6		16,6	

Tabel 3. Hasil uji berat jenis dan serapan air mortar pasir besi & pasir biasa

No	Mortar	Perban dingan	fas	Berat Jenis	BJ Rerata	Serapan (%)	Serapan Rerata (%)
1	Pasir Besi	1 : 6	0,40	2,55	2,59	10,92	10,61
		1 : 6		2,60		10,58	
		1 : 6		2,63		10,18	
		1 : 6		2,59		10,33	
		1 : 6		2,56		11,25	
		1 : 6		2,59		10,39	
2	Pasir Biasa	1 : 6	0,40	2,07	2,08	7,01	6,67
		1 : 6		2,11		7,00	
		1 : 6		2,10		6,46	
		1 : 6		2,08		6,98	
		1 : 6		2,09		4,77	
		1 : 6		2,04		7,77	

Mortar pasir besi mempunyai berat jenis lebih tinggi dari mortar pasir biasa, ini disebabkan oleh berat jenis pasir besi yang tinggi.

Data laju cacah atau intensitas radiasi yang diperhitungkan : data laju cacah latar (I_0), data laju cacah brutto tanpa perisai (I_{ob}), data laju cacah netto tanpa perisai (I_{on}), data laju cacah brutto setelah melewati perisai (I_b) dilakukan sebanyak 50 kali, dan data laju cacah netto (I).

Hubungan ketebalan perisai dengan intensitas

Intensitas radiasi rata-rata setelah melewati perisai (I) yang sudah dikoreksi dengan cacah latar

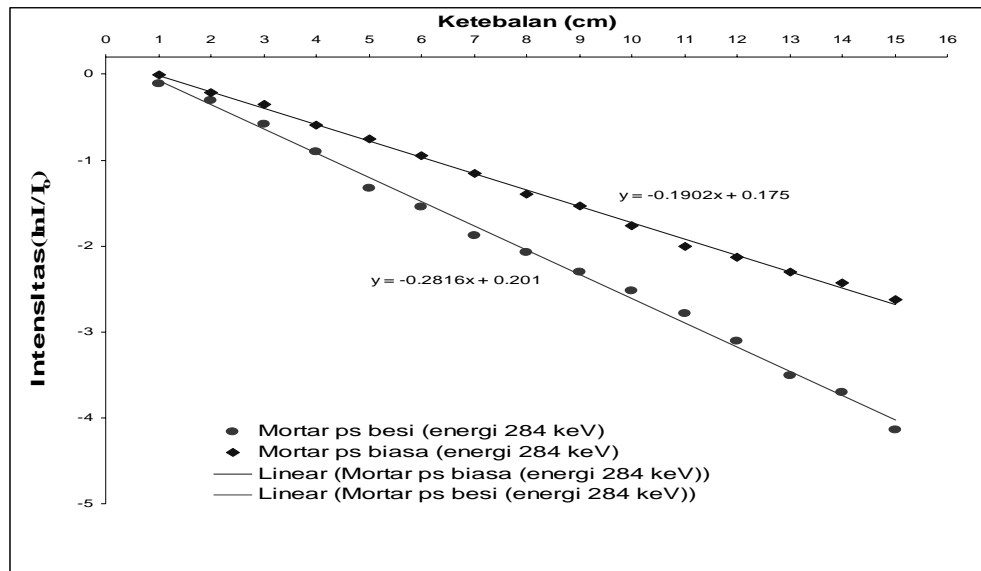
digunakan untuk menghitung dengan menggunakan persamaan 3.

Ketebalan perisai (x), intensitas rata-rata setelah melewati perisai (I), Data intensitas (I_0), dan $\ln I/I_0$ dapat dilihat pada Tabel 4, 5, 6 dan 7.

Dari data intensitas radiasi tersebut dibuat grafik hubungan antara ketebalan perisai dan intensitas dalam skala semilog, sehingga didapat sebuah garis. Nilai kemiringan garis tersebut menyatakan besaran koefisien attenuasi (μ). Grafik ketebalan perisai dengan intensitas dapat dilihat pada Gambar 6,7,8 dan 9.

Tabel 4. Data laju cacah radiasi ($E_\gamma = 284 \text{ keV}$)

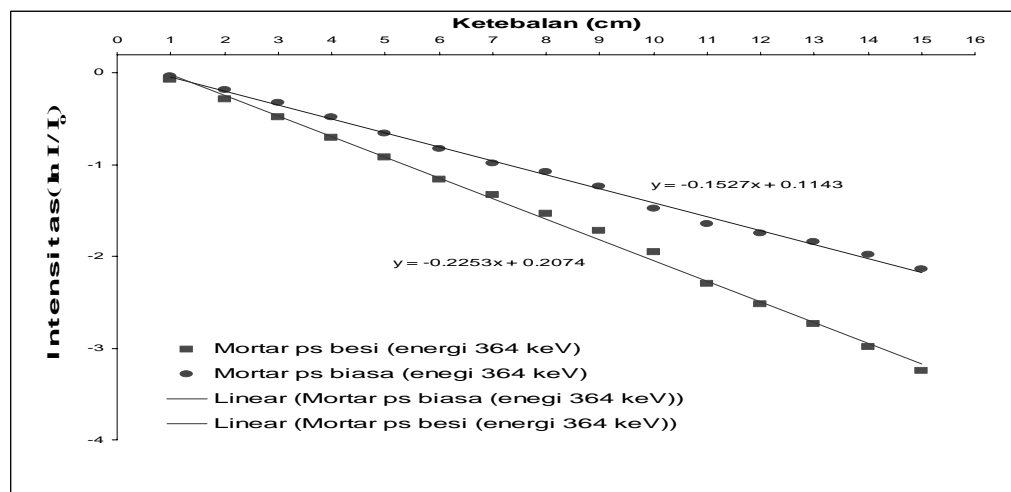
Mortar pasir besi				Mortar pasir biasa			
Tebal (cm)	I (netto) rerata (cacah/20dt)	Io (cacah/20dt)	ln (I/IO)	Tebal (cm)	I (netto) rerata (cacah/20dt)	Io (cacah/20dt)	ln (I/IO)
1	10.101,36	11.227,60	-0,10570	1	11.105,92	11.227,60	-0,01090
2	8.276,20	11.227,60	-0,30499	2	9.078,00	11.227,60	-0,21252
3	6.305,16	11.227,60	-0,57701	3	7.918,22	11.227,60	-0,34921
4	4.535,06	11.227,60	-0,90654	4	6.209,22	11.227,60	-0,59234
5	2.968,16	11.227,60	-1,33043	5	5.276,92	11.227,60	-0,75503
6	2.407,06	11.227,60	-1,53997	6	4.373,66	11.227,60	-0,94277
7	1.724,52	11.227,60	-1,87343	7	3.539,72	11.227,60	-1,15433
8	1.412,44	11.227,60	-2,07306	8	2.776,84	11.227,60	-1,39706
9	1.123,10	11.227,60	-2,30228	9	2.418,46	11.227,60	-1,53524
10	906,74	11.227,60	-2,51627	10	1.918,26	11.227,60	-1,76696
11	691,20	11.227,60	-2,78770	11	1.518,78	11.227,60	-2,00047
12	504,40	11.227,60	-3,10276	12	1.339,42	11.227,60	-2,12614
13	335,47	11.227,60	-3,51060	13	1.124,60	11.227,60	-2,30095
14	275,88	11.227,60	-3,70616	14	987,78	11.227,60	-2,43067
15	178,92	11.227,60	-4,13919	15	814,77	11.227,60	-2,62323



Gambar 6. Hubungan ketebalan perisai dengan intensitas.

Tabel 5. Data laju cacah radiasi ($E_\gamma = 364 \text{ keV}$)

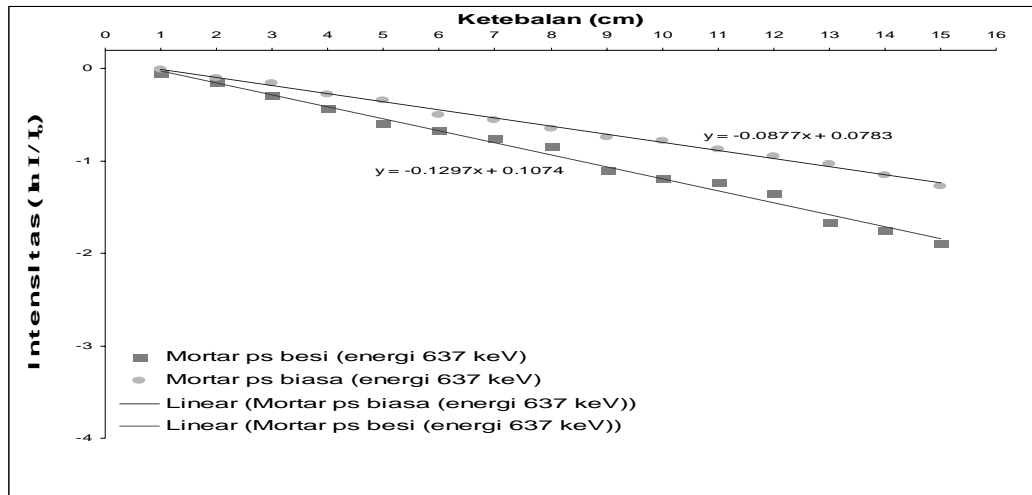
Mortar pasir besi				Mortar pasir biasa			
Tebal (cm)	I (netto) rerata (cacah/20dt)	Io (cacah/20dt)	ln (I/Io)	Tebal (cm)	I (netto) rerata (cacah/20dt)	Io (cacah/20dt)	Ln (I/Io)
1	171.662,81	184.329,70	-0,07119	1	179.209,83	184.329,70	-0,02817
2	138.285,93	184.329,70	-0,28740	2	153.974,85	184.329,70	-0,17994
3	114.502,79	184.329,70	-0,47613	3	133.948,71	184.329,70	-0,31927
4	91.336,83	184.329,70	-0,70217	4	114.232,39	184.329,70	-0,47849
5	73.781,83	184.329,70	-0,91561	5	95.614,47	184.329,70	-0,65640
6	57.707,13	184.329,70	-1,16135	6	80.765,47	184.329,70	-0,82518
7	48.832,35	184.329,70	-1,32833	7	68.754,37	184.329,70	-0,98619
8	39.800,61	184.329,70	-1,53284	8	62.812,45	184.329,70	-1,07657
9	33.014,09	184.329,70	-1,71979	9	53.834,89	184.329,70	-1,23080
10	26.242,77	184.329,70	-1,94934	10	41.959,79	184.329,70	-1,48001
11	18.478,07	184.329,70	-2,30014	11	35.669,09	184.329,70	-1,64244
12	14.828,07	184.329,70	-2,52020	12	32.001,81	184.329,70	-1,75093
13	12.014,23	184.329,70	-2,73063	13	29.371,71	184.329,70	-1,83669
14	9.298,55	184.329,70	-2,98687	14	25.563,01	184.329,70	-1,97558
15	7.166,81	184.329,70	-3,24727	15	21.676,25	184.329,70	-2,14051



Gambar 7. Hubungan ketebalan perisai dengan intensitas.

Tabel 6. Data laju cacah radiasi ($E\gamma = 637$ keV)

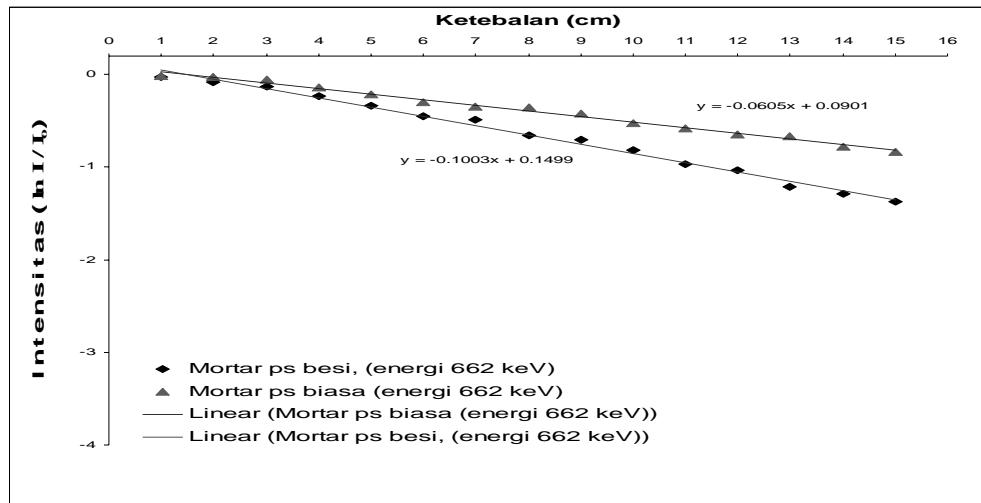
Mortar pasir besi				Mortar pasir biasa			
Tebal (cm)	I (netto) rerata (cacah/20dt)	Io (cacah/20dt)	ln (I/Io)	Tebal (cm)	I (netto) rerata (cacah/20dt)	Io (cacah/20dt)	ln (I/Io)
1	12.366,58	13.074,40	-0,05566	1	13.037,22	13.074,40	-0,00285
2	11.259,66	13.074,40	-0,14943	2	11.845,48	13.074,40	-0,09871
3	9.807,30	13.074,40	-0,28753	3	11.251,78	13.074,40	-0,15013
4	8.463,60	13.074,40	-0,43488	4	9.898,02	13.074,40	-0,27832
5	7.247,92	13.074,40	-0,58994	5	9.300,72	13.074,40	-0,34056
6	6.722,96	13.074,40	-0,66513	6	7.944,62	13.074,40	-0,49816
7	6.190,14	13.074,40	-0,74770	7	7.498,08	13.074,40	-0,55601
8	5.623,14	13.074,40	-0,84377	8	6.859,04	13.074,40	-0,64509
9	4.333,30	13.074,40	-1,10433	9	6.205,92	13.074,40	-0,74515
10	4.004,60	13.074,40	-1,18321	10	5.994,56	13.074,40	-0,77980
11	3.801,32	13.074,40	-1,23531	11	5.492,68	13.074,40	-0,86724
12	3.395,18	13.074,40	-1,34830	12	5.090,30	13.074,40	-0,94332
13	2.476,66	13.074,40	-1,66375	13	4.668,46	13.074,40	-1,02983
14	2.286,36	13.074,40	-1,74370	14	4.126,56	13.074,40	-1,15321
15	1.965,56	13.074,40	-1,89488	15	3.681,60	13.074,40	-1,26731



Gambar 8. Hubungan ketebalan perisai dengan intensitas.

Tabel 7. Data laju cacah radiasi ($E\gamma = 662$ keV)

Mortar pasir besi				Mortar pasir biasa			
Tebal (cm)	I (netto) rerata (cacah/20dt)	Io (cacah/20dt)	ln (I/Io)	Tebal (cm)	I (netto) rerata (cacah/20dt)	Io (cacah/20dt)	ln (I/Io)
1	428,42	439,80	-0,02622	1	434,32	439,80	-0,01254
2	404,48	439,80	-0,08372	2	428,34	439,80	-0,02640
3	385,22	439,80	-0,13251	3	415,66	439,80	-0,05645
4	349,10	439,80	-0,23096	4	383,00	439,80	-0,13829
5	314,90	439,80	-0,33406	5	353,60	439,80	-0,21815
6	280,16	439,80	-0,45096	6	326,78	439,80	-0,29703
7	269,84	439,80	-0,48849	7	310,50	439,80	-0,34814
8	228,20	439,80	-0,65610	8	307,48	439,80	-0,35791
9	218,30	439,80	-0,70045	9	288,14	439,80	-0,42287
10	195,06	439,80	-0,81301	10	259,80	439,80	-0,52641
11	167,84	439,80	-0,96331	11	246,40	439,80	-0,57935
12	156,22	439,80	-1,03505	12	229,74	439,80	-0,64937
13	130,86	439,80	-1,21219	13	226,38	439,80	-0,66411
14	121,43	439,80	-1,28701	14	202,60	439,80	-0,77509
15	111,48	439,80	-1,37247	15	191,28	439,80	-0,83258



Gambar 9. Hubungan ketebalan perisai dengan Intensitas.

Dari gambar 6,7,8, dan 9 didapat koefisien attenuasi mortar pasir besi dengan energi 284 keV, 364 keV, 637 keV dan energi 662 keV berturut-turut : 0,2816 cm⁻¹, 0,2253 cm⁻¹, 0,1297 cm⁻¹ dan 0,1003 cm⁻¹, koefisien attenuasi mortar pasir biasa berturut-turut adalah 0,1902 cm⁻¹, 0,1527 cm⁻¹, 0,0877 cm⁻¹ dan 0,0605 cm⁻¹.

Hubungan energi sumber radiasi dengan konstanta μ .

Nilai koefisien attenuasi (μ) untuk setiap jenis bahan perisai sangat tergantung pada nomor atom bahan dan juga pada energi radiasi elektromagnetik. Satuan koefisien attenuasi disesuaikan dengan satuan yang digunakan untuk perisai, kalau tebal bahan perisai dinyatakan dalam tebal linier (cm) maka satuan μ dalam cm⁻¹. Jika perisai dinyatakan dalam tebal kerapatan/massa dengan satuan gr/cm², maka koefisien serapan bahan perisai dinyatakan dalam koefisien massa dengan satuan cm²/gr.

Data energi masing-masing sumber radiasi dan koefisien attenuasi (μ) dalam ketebalan linier (cm⁻¹) dan massa (gr/cm²) untuk mortar dan bahan peneliti terdahulu disajikan pada Tabel 8. diperjelas pada tampilan grafik seperti pada Gambar 10.

Dari Gambar 10 grafik hubungan energi radiasi dengan koefisien attenuasi linier mortar

pasir besi didapat persamaan garis $y = 0,5631e^{(-0,0025X)}$ dan mortar pasir biasa $y = 0,4031e^{(-0,0026X)}$.

Contoh Aplikasi Penelitian

Pada ruang roentgen digunakan sinar-x dengan energi 250 keV, dosis yang terjadi pada ruang tersebut sebesar 5 rem/tahun (toleransi kebocoran maksimum *container* sumber radioaktif), berapakah ketebalan dinding rencana untuk menjadikan sinar radiasi diluar ruangan masih memenuhi standar aman ?. (Rekomendasi ICRP/ *International Comission Radiological Protection*, dosis maksimum yang diijinkan 5 mSv/tahun).

Penyelesaian:

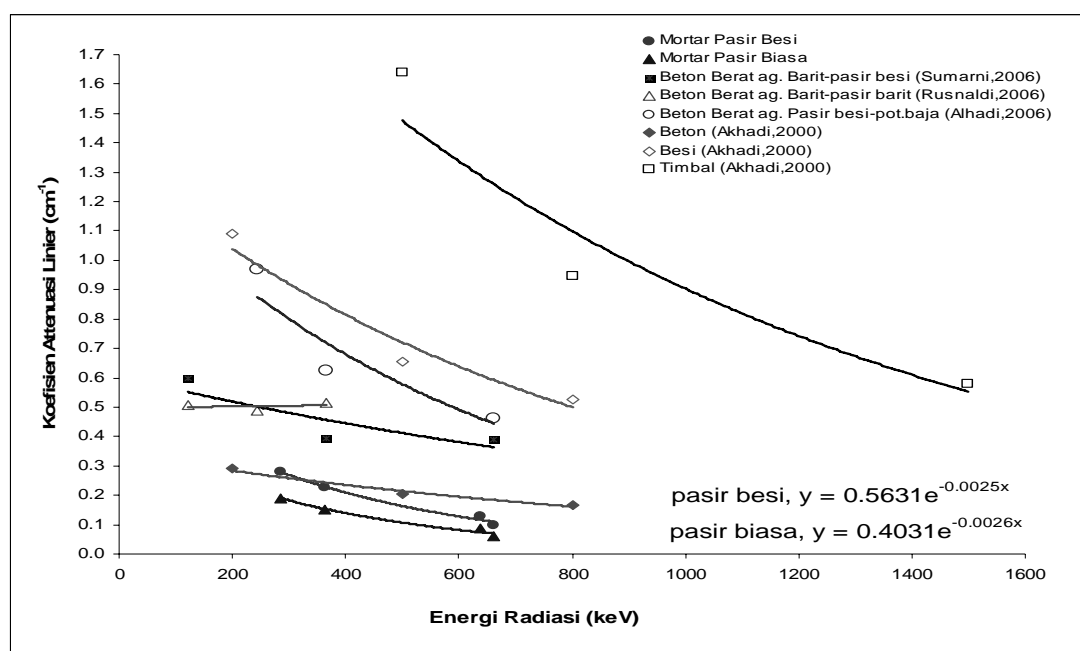
Perhitungan Dosis

Dosis radiasi maksimum yang harus ada diruangan akibat sinar-x di Indonesia masih mengacu rekomendasi ICRP tahun 1977, yang dalam perhitungan ini disebut Intensitas radiasi tanpa perisai (I_0) = 5 rem/tahun (sudah termasuk nilai toleransi kebocoran maksimum kontainer sumber radioaktif).

Dosis radiasi yang diijinkan/maksimum yang dapat diterima oleh tubuh manusia yang berlaku bagi masyarakat umum mengacu rekomendasi ICRP tahun 1977, yang dalam perhitungan ini disebut Intensitas radiasi setelah melewati perisai (I) = 5 mSv/tahun.

Tabel 8. Nilai Koefisien Attenuasi (μ) untuk bermacam-macam jenis perisai dan energi radiasi.

No	Jenis Bahan Perisai	Peneliti	BJ	Sumber Radiasi	Energi (keV)	Koefisien Attenuasi linier (cm^{-1})	Koefisien Attenuasi massa (cm^2/gr)
1	Mortar Pasir Besi	Hendra (2008)	2,590	Iodine-131	284,000	0,2816	0,10873
				Iodine-131	364,000	0,2253	0,08699
				Iodine-131	637,000	0,1297	0,05008
				Caesium137	662,000	0,1003	0,03873
2	Mortar Pasir Biasa	Hendra (2008)	2,080	Iodine-131	284,0000	0,1902	0,09144
				Iodine-131	364,0000	0,1519	0,07303
				Iodine-131	637,0000	0,0877	0,04216
				Caesium137	662,0000	0,0605	0,02909
3	Beton Berat ag. Barit - Pasir besi	Sumarni (2006)	3,121	Eu-152	121,7824	0,5977	0,19151
				Iodine-131	364,5000	0,3950	0,12656
				Caesium137	661,6000	0,3887	0,12454
4	Beton Berat ag. Barit-pasir barit	Rusnaldi (2006)	3,241	Eu-152	121,7824	0,5080	0,15674
				Eu-152	244,6989	0,4890	0,15088
				Iodine-131	364,5000	0,5140	0,15859
5	Beton Berat ag. Pasir besi - potongan.baja	Alhadi (2006)	5,786	Eu-152	284,000	0,9678	0,16727
				Iodine-131	364,5000	0,6254	0,10809
				Caesium137	661,6000	0,4633	0,08007
6	Beton	Akhadi (2000)	2,350	-	200,0000	0,2910	0,12383
				-	500,0000	0,2040	0,08681
				-	800,0000	0,1660	0,07064
7	Besi	Akhadi (2000)	7,900	-	200,0000	1,0900	0,13797
				-	500,0000	0,6550	0,08291
				-	800,0000	0,5250	0,06646
8	Timbal	Akhadi (2000)	11,300	-	500,0000	1,6400	0,14513
				-	800,0000	0,9450	0,08363
				-	1.500,0000	0,5790	0,05124

Gambar 10. Grafik hubungan antara energi radiasi dengan koefisien attenuasi linier (cm^{-1}).

Adapun konversi satuan radiasi di Indonesia mengacu pada rekomendasi ICRP tahun 1990.

$$1 \text{ rem} = 10 \text{ mSv}$$

$$5 \text{ mSv/tahun} = 0,5 \text{ rem/tahun}$$

Perhitungan koefisien attenuasi.

Dari persamaan yang dihasilkan oleh Gambar 10, digunakan untuk menghitung koefisien attenuasi linier (cm^{-1})

$$\mu = 0,5631e^{-0,0025 \cdot 250} = 0,3014 \text{ cm}^{-1}$$

Langkah selanjutnya untuk mendapatkan tebal linier perisai mortar pasir besi dengan energi 250 keV digunakan persamaan 3 dengan hitungan sebagai berikut :

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

$$\ln I = \ln I_0 e^{-\mu x}$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu \cdot x$$

$$\ln \frac{0,5 \text{ rem/tahun}}{5 \text{ rem/tahun}} = 0,3014 \cdot x$$

$$2,3025 = 0,3014 \cdot x$$

$$x = 7,639 \text{ cm}$$

Jadi rencana ketebalan mortar pasir besi didapat 7,639 cm.

Ketebalan perisai ruang roentgen dengan mortar pasir besi, mortar pasir biasa, dan bahan lain yang pernah diteliti dengan kriteria seperti soal di atas ditunjukkan pada Tabel 9.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Sifat fisik pasir besi dari Pantai Congot Kabupaten Kulon Progo Propinsi D.I. Yogyakarta sebagai berikut :
 - Berat Jenis didapat 4,331.
 - Berat jenis kering muka (SSD) sebesar 4,330.
 - Daya serap air pasir 0,422%.
 - Berat satuan 2,554 gr/cm^3 .
 - Gradasi pasir besi masuk daerah IV (gradasi halus) dengan mhb 1,330.
- Kuat tekan dari mortar pasir besi dengan fas 0,4 dengan perbandingan campuran 1 semen : 6 pasir besi setelah berumur 28 hari didapat 7,92 Mpa, dan kuat tekan mortar pasir biasa dengan perbandingan dan fas yang sama didapat 20,65 Mpa.
- Berat jenis mortar pasir besi 2,59, dan berat jenis mortar pasir biasa didapat 2,08. Berat jenis mortar pasir besi menunjukkan hasil yang cukup bagus hasilnya di atas rata-rata mortar semen biasa yang berkisar antara 1,80 – 2,20.
- Serapan air mortar pasir besi 10,61%, sedangkan mortar pasir biasa serapannya 6,67%, serapan air mortar pasir besi lebih tinggi, artinya dalam mortar pasir besi masih banyak terdapat rongga.

Tabel 9. Tabel perancangan ketebalan perisai dengan berbagai jenis bahan.

No	Jenis Bahan Perisai	Koefisien attenuasi linier (cm^{-1})	Ketebalan perisai (cm)
1	Mortar Pasir Besi	0,3014	7,639
2	Mortar Pasir Biasa	0,2104	10,942
3	Beton Berat ag. Barit-pasir besi	0,4957	4,645
4	Beton Berat ag. Barit-pasir barat	0,4916	4,684
5	Beton Berat ag. Pasir besi-pot.baja	0,8724	2,639
6	Beton	0,2733	8,424
7	Besi	0,9818	2,345
8	Timbal	1,8760	1,227

5. Besar koefisien attenuasi linier mortar pasir besi pada energi 284,00 keV, 364,00 keV, 637,00 keV dan 662,00 keV berturut-turut adalah : $0,2816 \text{ cm}^{-1}$, $0,2253 \text{ cm}^{-1}$, $0,1297 \text{ cm}^{-1}$ dan $0,1003 \text{ cm}^{-1}$, dan didapat persamaan garis $y = 0,5631e^{(-0,025X)}$.
6. Besar koefisien attenuasi linier mortar pasir biasa pada energi 284,00 keV, 364,00 keV, 637,00 keV dan 662,00 keV berturut-turut adalah : $0,1902 \text{ cm}^{-1}$, $0,1519 \text{ cm}^{-1}$, $0,0877 \text{ cm}^{-1}$ dan $0,0605 \text{ cm}^{-1}$ dan didapat persamaan garis $y = 0,4031e^{(-0,026X)}$.
7. Semakin besar densitas bahan perisai yang didapat maka semakin besar koefisien attenuasi bahan tersebut dan semakin bagus bahan sebagai perisai radiasi gamma.
8. Semakin tinggi tingkat energi yang digunakan, semakin kecil nilai koefisien attenuasinya.
9. Penggunaan mortar pasir besi sebagai perisai sinar gamma masih dapat dipertimbangkan sebagai bahan alternatif perisai radiasi.

Saran

1. Untuk mendapatkan kepadatan mortar yang lebih tinggi dimungkinkan untuk dilakukan memperkecil fas, menambahkan *superplasticizer*.
2. Agar mendapatkan berat jenis mortar pasir besi yang lebih tinggi perlu dilakukan penelitian dengan variasi campuran yang lebih besar dari 1;6, misalnya 1;7, 1;8 atau 1;9.
3. Diperlukan kecermatan dalam penelitian mulai dari pengambilan bahan, pengujian bahan

dasar, penghitungan jumlah bahan dalam 1 m^3 , pembuatan benda uji, uji kuat tekan, menghitung berat jenis, dan pengujian radiasi untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, N., 2000, *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Dept.PU, 2002, *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*, Direktorat Jendral Ciptakarya, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- NSPM Kimpraswil, 2002, *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara (Bagian 2 : Batuan, Sedimen, Agregat)*, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung.
- NSPM Kimpraswil, 2002, *Metode, Spesifikasi dan Tata Cara (Bagian 3 : Beton, Semen, Perkerasan Beton Semen)*, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung.
- Raju, Krishna, 1983, *Design of Concrete Mixes*, Second Edition, CBS Publisher & Distributors, Dehli.
- SK SNI -03-2494-2002, *Spesifikasi Agregat untuk Beton Penahan Radiasi*.
- Sumarni, S, 2006, *Penggunaan Pasir Besi dan Barit untuk Beton Berat sebagai Perisai Radiasi Sinar Gamma*, Tesis, Sekolah Pasca Sarjana Jurusan TS FT UGM, Jogjakarta.
- Tjokrodimuljo, K., 2004, *Teknologi Beton*, Buku Ajar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.