

HIGH DENSITY CONCRETE DENGAN MENGGUNAKAN BARIT SEBAGAI PENAHAN RADIASI

Joshua Wijaya¹, Evan Filbert Sikomena², Gogot Setyo Budi³ dan Hurijanto Koentjoro⁴

ABSTRAK : Beton adalah material yang terbuat dari semen, pasir, batu pecah dan air yang menghasilkan densitas sekitar 2300 - 2500 kg/m³. Material ini tidak cocok digunakan sebagai penahan radiasi karena membutuhkan ketebalan yang besar sehingga dapat mengkonsumsi banyak ruang. Penelitian ini menyajikan pembelajaran tentang pengaruh batu barit sebagai agregat kasar dan halus sebagai perisai terhadap radiasi gamma. Pengujian dilakukan dengan menggunakan CS-137 sebagai radiasi gamma dengan energy 661.37 kV. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan radiasi gamma beton dengan barit baik sebagai agregat kasar dan halus lebih baik daripada beton dengan menggunakan barit sebagai agregat kasar dan beton normal (tanpa barit). Koefisien serapan beton mutu Fc' 25 MPa dengan barit sebagai agregat kasar dan halus dan beton dengan barit sebagai agregat kasar masing-masing adalah 0.294 cm⁻¹ dan 0.230 cm⁻¹. Sedangkan koefisien serapan beton normal adalah 0.205 cm⁻¹. Untuk beton mutu Fc' 35 MPa yang lebih tinggi dengan barit sebagai agregat kasar dan halus dan beton barit sebagai agregat kasar masing-masing adalah 0.304 cm⁻¹ dan 0.271 cm⁻¹. Sedangkan koefisien serapan beton normal adalah 0.225 cm⁻¹.

KATA KUNCI: *attenuation coefficient, barite, high density concrete, shield radiation.*

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi bangunan yang terbuat dari campuran antara semen, agregat dan air. Beton sering digunakan karena lebih ekonomis dibandingkan dengan bahan konstruksi yang lainnya. Seiringnya waktu, beton dikembangkan menjadi beton ringan dengan tujuan dapat mengurangi berat sendiri dari struktur pada bangunan yang berdampak pada beban pondasi. Material yang biasanya digunakan untuk pembuatan beton ringan adalah pasir silica dan kapur. Namun ada juga beberapa fungsi beton seperti pemberat dan penahan radiasi. Untuk penahan radiasi, beton dikembangkan menjadi beton densitas tinggi (*High Density Concrete*) dengan densitas beton harus lebih besar dari densitas beton normal. Beton densitas tinggi memiliki densitas lebih dari 3000 kg/m³ sedangkan beton normal hanya memiliki densitas sekitar 2300 – 2500 kg/m³.

2. LANDASAN TEORI

Menurut The National Council on Radiation Protection and measurements (NCRP, 1989) material yang memiliki *Specific Gravity* dan nomor atom tinggi memiliki kemampuan menyerap berkas radiasi lebih baik. Salah satu material yang memenuhi persyaratan ini adalah beton densitas tinggi yang dapat diperoleh dengan menggunakan agregat yang mempunyai *Specific Gravity* tinggi. Menurut Stephenson (1954), dalam buku "Introduction to Nuclear Engineering" mengatakan bahwa beton dengan agregat batu barit memiliki daya serap yang baik terhadap radiasi pengan karena barit mempunyai kandungan

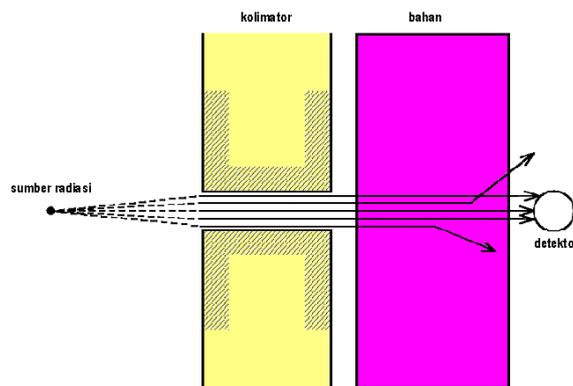
¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, joshuawijaya777@gmail.com.

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, esikomena@yahoo.com.

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, gogot@petra.ac.id.

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, hurijanto@petra.ac.id.

utama senyawa kimia batrium sulfat (BaSO_4). Menurut Hanor, (2000), menyatakan barit sendiri mempunyai *specific gravity* 4.20-4.48 yang dikategorikan agregat dengan densitas tinggi dibandingkan agregat yang biasa digunakan dalam beton konvensional sebesar 2.7. Menurut Badan Tenaga Nuklir Nasional (2001), seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**, jika radiasi sinar x dengan intensitas tertentu menembus bahan penahan, maka intensitas radiasinya akan berkurang secara eksponensial sebanding dengan tebal bahan penahan. Koefisien pengurangan intensitas radiasi gamma yang berenergi antara 1-3 MeV tidak berubah karena tebal bahan, sehingga dapat dianggap bahwa kemampuan penahanan hanya berkaitan dengan rapat jenis materi.



Gambar 1. Prinsip Kerja Radiasi (Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2001)

Haryati & Dahlan, (2015), telah melakukan analisis sifat fisik beton serta menentukan nilai koefisien serapan linier bahan perisai radiasi. Bahan perisai radiasi yang digunakan adalah beton berat dengan menggunakan campuran pasir besi dan tanpa menggunakan campuran pasir besi. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa beton berat yang menggunakan campuran pasir besi mempunyai nilai kuat tekan 40,67 MPa dan nilai koefisien atenuasi yaitu 0,026/cm. Sedangkan berat tanpa menggunakan pasir besi hanya mempunyai nilai kuat tekan sebesar 20,38 MPa dan nilai koefisien atenuasi 0,013/cm. Jika radiasi g atau radiasi-X menembus materi, maka akan terjadi interaksi dengan materi dan mengalami pengurangan energi. Ikhsan dan Pratidina, (2002), melakukan penelitian yang bertujuan mendapatkan beton dengan kuat desak yang tinggi dan mempunyai daya serap radiasi yang baik terhadap radiasi neutron. Agregat yang digunakan adalah batu barit dengan bahan tambah *Sikament NN* sebagai superplasticizer 0%, 0,5%, dan 1%. Hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan bahwa dengan penambahan *Sikament NN* dalam campuran beton akan meningkatkan kuat tekan beton. Nilai kuat tekan yang didapatkan berdasarkan penambahan *Sikament NN* 0%, 0,5%, dan 1% berturut-turut adalah 38,49 MPa, 39,68 MPa, dan 39,30 MPa. Daya serap radiasi dengan dengan beton normal dan beton dengan bahan tambah *Sikament NN* 0.5% adalah sebesar 0,014888/cm dan 0,02608/cm untuk neutron campuran. Untuk neutron cepat sebesar 0,058709/cm dan 0,06666/cm dan untuk neutron thermal sebesar 0,010/cm dan 0,0147/cm. Sumarni, Sutyarno & Wijatna (2007), mereka membuat beton penahan radiasi dari agregat barit, pasir besi, serta bahan tambah viscocrete-10. Dari hasil uji beton itu sendiri, didapatkan daya serap terhadap energi 121,782 keV, 364,5 keV, dan 661,6 keV yaitu berturut-turut sebesar 0,597/cm, 0.395/cm, 0.3887/cm.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan menganalisa *specific gravity* dari material batu barit dan batu biasa dalam keadaan kering serta menganalisa *specific gravity* dari material batu barit dan batu biasa dalam keadaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*). Pada penelitian ini akan dilakukan *mix design* dengan mutu beton $F_c' = 25$ MPa dan $F_c' = 35$ MPa. Metode yang digunakan untuk *mix design* adalah ACI Committee 302 sebagai patokan untuk mendapatkan perbandingan perencanaan untuk beton normal dan juga beton desitas tinggi dengan barit sebagai agregat kasar dan agregat halus. Untuk menambah *variable*, maka akan dibuat beton dengan ketebalan 3 cm, 6 cm dan 10 cm. Juga untuk setiap *variable* akan dibuat

masing-masing 1 sampel dengan ketebalan 15 cm untuk di uji kuat tekannya sebagai tambahan informasi. Pada pencampuran semen, pasir dan kerikil akan dilakukan didalam ember plastik dan diaduk sampai homogen, selanjutnya ditambahkan dengan air sampai adukan menjadi adonan yang plastis. Adonan akan dituangkan kedalam cetakan yang sudah disiapkan sesuai dengan tebal yang diinginkan.

Pada pengujian kuat tekan, Sampel yang diujikan adalah semua mix design dengan tebal 15 cm. Pada uji kuat tekan beton dilakukan saat beton berumur 28 hari. Untuk mempermudah percobaan sinar x maka sampel kuat tekan dibuat sama dengan sampel sinar x yaitu menggunakan kubus. Karena desain yang digunakan adalah f_c' maka f_c' (MPa) dikonversi menjadi K (kg/cm²) untuk disesuaikan dengan benda uji. Faktor konversi benda uji kubus ke silinder adalah 0.83. Konversi satuan MPa ke kg/cm² adalah 1 MPa = 1 N/mm² = 10 kg/cm². Sehingga dapat dicari f_c' 25 MPa setara dengan $(25 \times 10) / 0.83 = 301.20$ kg/cm² dan f_c' 35 MPa setara dengan $(35 \times 10) / 0.83 = 421.69$ kg/cm².

Pada sinar x dilakukan saat beton berumur 28 hari mengikuti standar dari ASTM C-39 (2012). Sampel beton akan dibuka 24 jam setelah pengecoran dan *during* pada bak yang berisi air. Sehari sebelum pengujian sinar x, beton dikeluarkan dari bak agar berada dalam kondisi kering saat pengujian. Pengujian akan dilakukan di Rumah Sakit Dr. Soetomo dengan menggunakan prosedur kedokteran rumah sakit tersebut. Jadi beton yang sudah dibuat sesuai dengan *mix design* yang telah direncanakan akan diuji densitasnya menggunakan alat sinar x dengan tegangan 140 kv dan ditembakkan ke arah beton dengan jarak 50 cm. Pengambilan keputusan 140 kv karena kemampuan alat sinar x hanya memiliki energy maksimal 150 kv dan dilarang untuk menggunakan energy maksimal dari alat tersebut. Kemudian untuk pengukuran berapa besaran sinar x yang ditembakkan dan yang tertahan kami akan menggunakan alat kv meter yang dipinjam dari Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan Surabaya. Jadi alat ini akan diletakkan diatas dan dibawah beton yang akan ditembakkan dan dari alat ini akan menunjukkan besaran angka yang memberikan informasi berapa sinar x yang tembus terhadap beton. Dari sini kita bisa menyimpulkan seberapa besar sinar x yang tertahan di dalam masing-masing beton yang di uji.

4. HASIL ANALISA

Pada bagian ini akan dijelaskan hasil dari penelitian yang telah dilakukan

4.1 HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

Pengujian kuat tekan pada setiap beton dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari sesuai dengan standar ASTM C39, dan sampel beton telah di *curing* sampai 1 hari sebelum pengetesan. Benda uji berupa kubus berukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Sebelum dilakukan pengujian, beton ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massa tiap beton agak dapat mencari densitas dari setiap jenis beton. Hasil pengujian tekan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Jenis Beton	Kuat Tekan Rencana		Hasil Pengujian			
	MPa	Kg/cm ²	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	Persentase Kekuatan (%)
Beton Normal (BN)	25	301.20	545	24.22	291.83	96.89
	35	421.69	760	33.78	406.96	96.51

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton (Lanjutan)

Beton Kerikil Barit (BKB)	25	301.20	405	18.00	216.87	72.00
	35	421.69	715	31.78	382.86	90.79
Beton <i>Full</i> Barit (BFB)	25	301.20	340	15.11	182.06	60.44
	35	421.69	590	26.22	315.93	74.92

4.2 HASIL PENGUJIAN DENSITAS BETON

Menggunakan batu barit sebagai agregat kasar pada beton kerikil barit jika dibandingkan dengan beton normal maka beton kerikil barit memiliki kenaikan densitas sebesar 33.42% pada mutu rencana 25 MPa dan 31.89% pada mutu rencana 35 MPa. Sedangkan pada beton *full* barit yang menggunakan batu barit sebagai agregat kasar dan agregat halus memiliki kenaikan densitas yang lebih besar dari beton kerikil barit. Kenaikan densitas pada beton *full* barit sebesar 53.68% pada mutu rencana 25 MPa dan 49.11% pada mutu rencana 35 MPa. Hal ini dikarenakan barit memiliki *specific gravity* yang lebih besar dari batu biasanya sehingga dapat mempengaruhi densitas dari beton yang menggunakan barit sebagai agregat. Hasil pengujian densitas beton diperlihatkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Pengujian Densitas Beton

Jenis Beton	Mutu Beton Rencana (Mpa)	Massa (kg)	Volume (cm ³)	Densitas (kg/m ³)	Persentase Peningkatan Densitas (%)
Beton Normal (BN)	25	7.60	3375.00	2251.85	-
	35	7.84	3375.00	2322.96	-
Beton Kerikil Barit (BKB)	25	10.14	3375.00	3004.44	33.42
	35	10.34	3375.00	3063.70	31.89
Beton <i>Full</i> Barit (BFB)	25	11.68	3375.00	3460.74	53.68
	35	11.69	3375.00	3463.70	49.11

4.3 HASIL PENGUJIAN SINAR X PADA BETON

Pada **Tabel 3** dan **Tabel 4** menunjukkan bahwa semakin kecil nilai exposure menandakan semakin baik beton menahan radiasi. Dilihat dari pengukuran exposure sebelum ditembakkan dan setelah ditembakkan, beton dengan bahan full barit merupakan beton yang paling baik untuk menahan radiasi karena sinar x tidak bisa menembus beton full barit bahkan hanya dengan ketebalan 3 cm. Diikuti dengan beton kerikil barit yang hanya bisa ditembus oleh sinar x pada ketebalan 3 cm. Dan paling terakhir beton normal yang bisa ditembus oleh sinar x pada ketebalan 3 cm dan 6 cm. Juga dari segi mutu, hasil analisa menunjukkan beton dengan mutu yang lebih tinggi akan meningkatkan kemampuan menahan sinar radiasi walaupun tidak signifikan. Karena keterbatasan alat sehingga masih banyak data yang tidak didapatkan, dilakukan pengujian dengan menggunakan sinar γ yang mempunyai voltase lebih besar

Tabel 3. Hasil Pengujian Sinar X Beton 25 MPa

Measurement	Set	ma	ms	Exposure(mGy)	SDD (cm)	SID (cm)	Euler	Tebal beton(cm)	Koef.serapan n/(cm)
	kV(kV)	100	50						
Beton normal 3cm(BN3)				0.122	44	50	2.718	3	1.151
Beton normal 6cm(BN6)				0.004	41	50		6	1.147
Beton normal 10cm(BN10)				tidak tembus	37	50		10	tidak tembus
Beton Kerikil Barit 3cm (BKB3)				0.001	44	50		3	2.844
Beton Kerikil Barit 6cm (BKB6)				tidak tembus	41	50		6	tidak tembus
Beton Kerikil Barit 10cm(BKB10)				tidak tembus	37	50		10	tidak tembus
Beton Full Barit 3cm (BFB3)				tidak tembus	44	50		3	tidak tembus
Beton Full Barit 6cm (BFB3)				tidak tembus	41	50		6	tidak tembus
Beton Full Barit 10cm (BFB3)				tidak tembus	37	50		10	tidak tembus

Tabel 4. Hasil Pengujian Sinar X Beton 35 MPa

Measurement	Set	ma	ms	Exposure(mGy)	SDD (cm)	SID (cm)	Euler	Tebal beton(cm)	Koef.serapan n/(cm)
	kV(kV)	100	50						
Beton normal 3cm(BN3)				0.065	44	50	2.718	3	1.363
Beton normal 6cm(BN6)				0.001	41	50		6	1.346
Beton normal 10cm(BN10)				tidak tembus	37	50		10	tidak tembus
Beton Kerikil Barit 3cm (BKB3)				tidak tembus	44	50		3	tidak tembus
Beton Kerikil Barit 6cm (BKB6)				tidak tembus	41	50		6	tidak tembus
Beton Kerikil Barit 10cm(BKB10)				tidak tembus	37	50		10	tidak tembus
Beton Full Barit 3cm (BFB3)				tidak tembus	44	50		3	tidak tembus
Beton Full Barit 6cm (BFB3)				tidak tembus	41	50		6	tidak tembus
Beton Full Barit 10cm (BFB3)				tidak tembus	37	50		10	tidak tembus

4.4 HASIL PENGUJIAN SINAR GAMMA PADA BETON

Pada **Tabel 5** dan **Tabel 6** menunjukkan nilai exposure sebelum ditembakkan dan nilai exposure setelah ditembakkan. Juga ditambahkan nilai koefisien serapan yang didapatkan dari rumus di bawah ini. Sama halnya dengan nilai exposure, koefisien serapan juga bisa menunjukkan seberapa baik beton menyerap sinar radiasi. Semakin besar koefisien serapan sebuah beton menunjukkan semakin baik sebuah beton menyerap sinar radiasi dan tiap bahan mempunyai nilai koefisien serapan yang tidak jauh

berbeda. Pada tabel di bawah ini menunjukkan beton dengan full barit mempunyai daya serap sinar radiasi paling baik. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien *attenuasi* linier setelah sinar gamma ditembakkan pada masing-masing jenis beton dengan mutu 25 MPa berturut-turut sebagai berikut $\mu_{normal}=0.205\text{ cm}^{-1}$, $\mu_{kerikil\ barit}=0.230\text{ cm}^{-1}$ dan $\mu_{full\ barit}=0.294\text{ cm}^{-1}$.

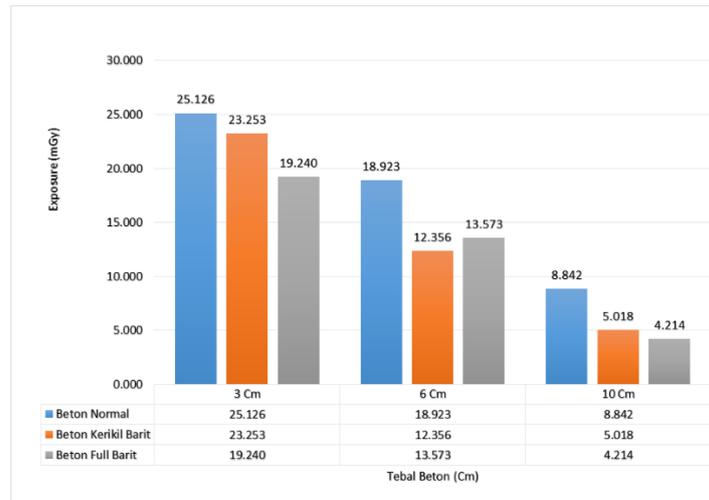
Tabel 5. Hasil Pengujian Sinar γ Beton 25 MPa

Measurement	Set kV(kV)	waktu(s)	Exposure(mGy)	Jarak tembak(cm)	Euler	tebal beton(cm)	koef.serapan(/cm)
	662	60	46.427	5	2.718		
Beton normal 3cm(BN3)			25.126			3	0.205
Beton normal 6cm(BN6)			18.923			6	0.150
Beton normal 10cm(BN10)			8.842			10	0.166
Beton Kerikil Barit 3cm (BKB3)			23.253			3	0.230
Beton Kerikil Barit 6cm (BKB6)			12.356			6	0.221
Beton Kerikil Barit 10cm(BKB10)			5.018			10	0.222
Beton Full Barit 3cm (BFB3)			19.240			3	0.294
Beton Full Barit 6cm (BFB6)			13.573			6	0.205
Beton Full Barit 10cm (BFB10)			4.214			10	0.240

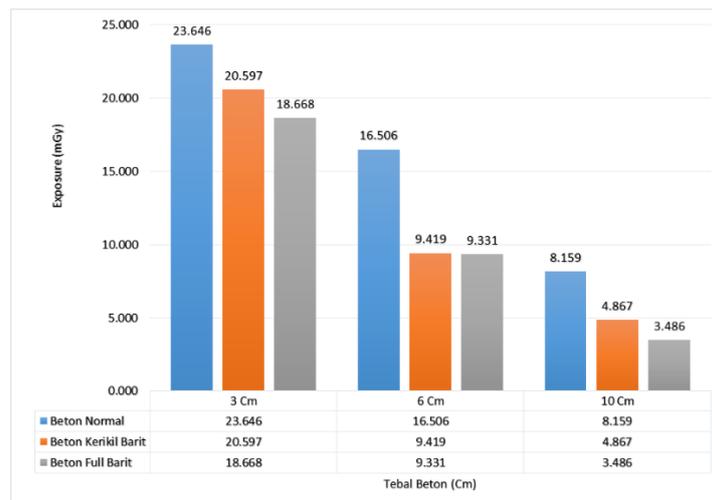
Tabel 6. Hasil Pengujian Sinar γ Beton 35 MPa

Measurement	Set kV(kV)	waktu(s)	Exposure(mGy)	Jarak tembak(cm)	Euler	tebal beton(cm)	koef.serapan(/cm)
	662	60	46.427	5	2.718		
Beton normal 3cm(BN3)			23.646			3	0.225
Beton normal 6cm(BN6)			16.506			6	0.172
Beton normal 10cm(BN10)			8.159			10	0.174
Beton Kerikil Barit 3cm (BKB3)			20.597			3	0.271
Beton Kerikil Barit 6cm (BKB6)			9.419			6	0.266
Beton Kerikil Barit 10cm(BKB10)			4.867			10	0.226
Beton Full Barit 3cm (BFB3)			18.668			3	0.304
Beton Full Barit 6cm (BFB6)			9.331			6	0.267
Beton Full Barit 10cm (BFB10)			3.486			10	0.259

Perbandingan beton dengan ketebalan serta masing-masing bahan ditunjukkan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**. Pada **Gambar 2** dan **Gambar 3** menunjukkan nilai exposure yang semakin kecil karena pengaruh bahan dan ketebalan beton. Juga disimpulkan beton dengan mutu yang lebih baik akan menghasilkan beton dengan koefisien serapan yang lebih baik.

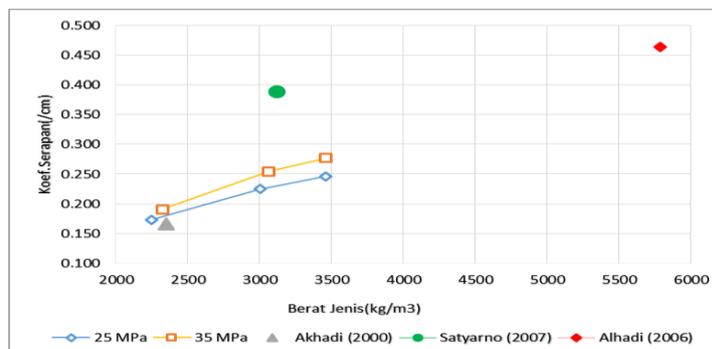


Gambar 2. Perbandingan Beton 25 MPa



Gambar 3. Perbandingan Beton 35 MPa

Pada **Gambar 4** ditunjukkan korelasi antara berat jenis dan koefisien serapan dari beton mutu 25 dan 35 MPa hasil penelitian dan beberapa referensi.



Gambar 4. Korelasi Berat Jenis Dan Koefisien Serapan

5. KESIMPULAN

Menggunakan batu barit sebagai pengganti agregat terbukti dapat meningkatkan densitas beton sebesar 31.89% sampai 53.68% jika dibandingkan dengan densitas beton normal. Beton yang menggunakan barit sebagai agregat kasar dan halus mempunyai densitas paling besar dibandingkan dengan beton yang hanya menggunakan barit sebagai agregat kasar dan beton normal yang memakai pasir lumajang dan batu pecah biasa. Beton full barit juga memiliki daya serap sinar radiasi yang paling baik dibandingkan beton kerikil barit dan beton normal. Jadi, densitas agregat yang tinggi dapat meningkatkan kemampuan menahan radiasi menjadi lebih baik.

6. DAFTAR REFERENSI

- BATAN. (2001). *Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi*, Penerbit Andi, Jakarta
- Hanor, J. (2000). "Barite-Celestine Geochemistry And Environments of Formation." *Mineralogical Society of America*. Vol. 40, 193–275.
- Haryati E., & Dahlan K. (2015). "Analisis Karakterisasi Beton Berat Menggunakan Pasir Besi Sebagai Perisai Radiasi Nuklir." *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. Vol. 4, No. 7, 2-4
- Ikhsan J., & Pratidina Y.P. (2002). "Analisis Penggunaan Batu Barit Dengan Bahan Tambah Sikament NN Untuk Bahan Susun Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap." *Ilmiah Semesta Teknika*. Vol. 5, No. 1, 46-60.
- NCRP. (1989). *Radiation Protection For Medical And Allied Health Personnel*, Protective Action Guides, Washington.
- Stephenson R., (1954). *Introduction To Nuclear Engineering*, McGraw-Hill, New York.
- Sumarni S., Satyarno I., & Wijatna A. B., (2007). "Penggunaan Pasir Besi dan Barit Sebagai Agregat Beton Berat Untuk Perisai Radiasi Sinar Gamma." *Media Teknik Sipil*, Vol. 7, No. 2, 93-99.