

ANALISIS LIMBAH BATUBARA (*FLY ASH*) SEBAGAI ALTERNATIF SEMEN UNTUK BETON PADA PERISAI SINAR PENGION COBALT – 60 DITINJAU DARI SEGI BIAYA

Hudhiyantoro¹, Hariyadi²

¹Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

email: hudhi_yantoro@yahoo.com

²Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Abstrak

Berbagai penelitian dan percobaan dibidang beton dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas beton, teknologi bahan dan teknik-teknik pelaksanaan. Penelitian dan percobaan tersebut dimaksudkan untuk menjawab tuntutan yang semakin tinggi terhadap pemakaian beton serta mengatasi kendala-kendala yang sering terjadi pada pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Khususnya beton yang berfungsi sebagai perisai terhadap sinar pengion. National Council on radiation and Measurement (NCRP no.49) mensyaratkan densitas beton minimal $2,35 \text{ gr} / \text{cm}^3$. Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan beton dan densitas adalah meningkatkan pemadatannya, yaitu meminimumkan pori atau rongga yang terbentuk di dalam beton. Penggunaan bahan tambah (admixture) dapat membantu memecahkan permasalahan tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan dan densitas pada beton normal dan beton berbahan fly ash 10 % (sebagai pengganti semen) , serta untuk mengetahui adakah perbedaan ketebalan pada dua varian beton terhadap sinar pengion Cobalt – 60 berenergi 1, 25 Mega electron Volt (MeV) sebagai proteksi pada radiasi. Penghematan biaya yang dihasilkan dengan komposisi penggantian semen dengan abu terbang (Fly Ash) sebanyak 10% dari berat semen, penambahan Superplasticizer Sika Viscocrete sebanyak 1% dan faktor air semen ditentukan sama pada semua variasi campuran. Sampel yang digunakan adalah berbentuk silinder (diameter 15 cm x tinggi 30 cm), mutu beton yang direncanakan 40 MPa pada umur 28 hari. Sampel diuji pada umur 28 hari, dengan terlebih dahulu dilakukan perawatan sebelum pengujian. Jumlah sampel sebanyak 24 sampel, terdiri dari 2 variasi dan masing-masing variasi sebanyak 12 sampel. Hasil penelitian membuktikan bahwa beton dengan fly ash 10 % mempunyai kuat tekan sebesar 42,83 MPa serta densitas sebesar $2,42 \text{ kg} / \text{m}^3$. Pada Uji sinar pengion Cobalt-60 berenergi 1,25 Mev, beton dengan fly ash 10 % pada ketebalan 60 cm mampu menahan sinar pengion tersebut dan menghasilkan penghematan biaya Rp 9.571.725,-.

Kata Kunci : Beton, kuat tekan, densitas , superplasticizer, fly ash. dan sinar pengion Cobalt - 60

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Batubara adalah bahan bakar fosil, di mana di Indonesia tersedia cadangannya dalam jumlah yang cukup melimpah, pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik menghasilkan limbah padat berupa abu (*fly ash* dan *bottom ash*). Industri pertambangan di Indonesia (termasuk batubara) telah berkembang dengan relatif pesat dengan didorong oleh adanya UU No. 1/1967 tentang penanaman modal asing dan UU No.11/1967 tentang ketentuan-ketentuan pokok pertambangan. Batubara adalah bahan bakar fosil, yang diperkirakan mencapai 38,9 miliar ton. Produksi batubara pada tahun 2010

diperkirakan sekitar 153 juta ton, Dari pembakaran batubara dihasilkan sekitar 5% polutan padat yang berupa abu (*fly ash* dan *bottom ash*), di mana sekitar 10-20% adalah *bottom ash* dan sekitar 80-90% *fly ash* dari total abu yang dihasilkan. Pada tahun 1999, peranan batubara dalam penyediaan energy nasional baru mencapai sekitar 12% dan diperkirakan pada tahun 2020 akan mencapai 39,6%.

Permasalahan yang sangat berpengaruh pada kuat tekan beton adalah adanya porositas. Porositas dapat diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga kerapatan tidak dapat maksimal.

Partikel terkecil bahan penyusun beton konvensional adalah semen. Untuk

mengurangi porositas semen dapat digunakan bahan tambah mineral yang bersifat pozzolan dan mempunyai partikel sangat halus. Salah satu bahan tambah mineral tersebut adalah abu terbang (*Fly Ash*).

Besar dan kecilnya porositas juga dipengaruhi besar dan kecilnya f.a.s (faktor air semen) yang digunakan. Semakin besar f.a.s-nya porositas semakin besar, sebaliknya semakin kecil f.a.s-nya porositas semakin kecil. Untuk mendapatkan beton mutu tinggi (BMT) maka harus dipergunakan f.a.s rendah, tetapi bila f.a.s terlalu kecil pengerjaan beton terlalu sulit, sehingga pemadatan tidak bisa maksimal, untuk mengatasi hal tersebut dipergunakan *superplasticizer* yang sifatnya dapat mengurangi air tetapi tetap mudah dikerjakan.

Dari hasil penelitian pada beton mutu tinggi (BMT) dengan bahan campuran *fly ash* yang terbentuk dengan kandungan 10% yang menghasilkan kuat tekan 41 Mpa pada umur 28 hari. Pada penelitian yang lain, beton mutu tinggi (BMT) dengan bahan campuran *fly ash* bisa bersifat atenuasi pada sinar pengion *Cesium 137* dengan energy 0,661 *Mega electron Volt* (MeV).

Pada penelitian ini, kami akan merancang campuran beton dengan tambahan *fly ash* 10% sebagai pengganti semen dan *superplasticizer* 1%, kemudian dibuat benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pada umur 28 hari benda uji tersebut akan diuji laboratorium teknik sipil yang diharapkan pada kuat tekan (K 400), densitas dan bisa bersifat atenuasi bagi sinar pengion *Cobalt-60* dengan energy 1,25 *Mega electron Volt* (MeV) juga memberikan keuntungan dalam segi penghematan biaya yang dihasilkan bila menggunakan *fly ash*

10% pada dinding perisai tempat pesawat *Cobalt-60* di RSUD Dr Soetomo.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah mungkin dibuat beton pada K 400 yang menggunakan tambahan bahan 10% *fly ash* batubara PLTU Paiton yang berfungsi sebagai pengganti semen dengan densitas beton diatas 2.35 gr/cm^3 ?
2. Seberapa tebal beton yang dibutuhkan dari masing-masing variasi (beton tanpa campuran *fly ash* dan beton dengan campuran *fly ash* 10%) agar sinar pengion *Cobalt - 60* tidak bisa menembus beton tersebut ?
3. Berapakah penghematan biaya yang dihasilkan karena pemakaian *fly ash* 10% pada dinding perisai tempat alat *Cobalt-60* RSUD Dr Soetomo.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membuat beton menggunakan kandungan *fly ash* 10% sebagai pengganti sebagian semen pada K 400 dengan densitas minimal $2,35 \text{ gr/cm}^3$ sebagai benda uji.
2. Mengetahui ketebalan beton dari dua variasi benda uji (beton tanpa campuran *fly ash* dan beton dengan campuran *fly ash* 10%) yang akan diuji dengan sinar pengion *Cobalt-60* yang berenergi 1,25 MeV, yang diharapkan beton benda uji tersebut bisa menahan sinar pengion *Cobalt-60*.
3. Mengetahui penghematan yang dihasilkan bila memakai *fly ash* 10% pada gedung tempat pesawat *Cobalt-60* di RSUD Dr Soetomo.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

- 2.1.1 Pemanfaatan Limbah Batubara (*fly ash*) untuk stabilisasi tanah maupun keperluan teknik sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan.

Fly ash dan *bottom ash* merupakan limbah batubara padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Ada tiga type pembakaran batubara pada industri listrik yaitu *dry bottom boilers*, *wet-bottom boilers* dan *cyclon furnace* Apabila batubara dibakar dengan type *dry bottom boiler*, maka kurang lebih 80% dari abu meninggalkan pembakaran sebagai *fly ash* dan masuk dalam corong gas. Pada *cyclon furnace*, 70-80 % dari abu tertahan sebagai *boiler slag* dan hanya 20-30% meninggalkan pembakaran sebagai *dry ash* pada corong gas.

Menurut Amerika Society Test and Material (ASTM) C618 *fly ash* dibagi menjadi dua kelas yaitu *fly ash* kelas F dan kelas C. Perbedaan utama dari kedua *ash* tersebut adalah banyaknya calsium, silika, aluminium dan kadar besi di *ash* tersebut.

2.1.2 Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*fly ash*) Dalam Beton Mutu Tinggi.

Hasil Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) pada kuat tekan beton dengan *superplasticizer* direncanakan sebesar 40 MPa pada umur 28 hari. Metode perhitungan yang digunakan adalah SNI 03-6468-2000 (PdT-18-1999-03). Faktor air semen dan kadar *superplasticizer* ditentukan sama untuk semua variasi campuran. Hasil perhitungan diketahui bahwa faktor air semen diperoleh sebesar 0,420 dan kadar *superplasticizer* ditentukan sebesar 1% dari berat semen.

Mutu Beton	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (liter)
7.4 MPa (K 100)	247	869	999	215
9.8 MPa (K 125)	276	828	1012	215
12.2 MPa (K 150)	299	799	1017	215
14.5 MPa (K 175)	326	760	1029	215
16.9 MPa (K 200)	352	731	1031	215
19.3 MPa (K 225)	371	698	1047	215
21.7 MPa (K 250)	384	692	1039	215
24.0 MPa (K 275)	406	684	1026	215
26.4 MPa (K 300)	413	681	1021	215

Sumber : SNI DT - 91- 0008 – 2007, Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton, oleh Departemen Pekerjaan Umum.

Interaksi Radiasi Pregon Cobalt – 60 Dengan Materi.

Radiasi dapat diartikan sebagai energi yang dipancar kan dalam bentuk partikel atau gelombang. Radiasi pengion adalah radiasi yang apabila menumbuk atau menabrak suatu materi, akan muncul partikel bermuatan listrik yang disebut ion. Peristiwa terjadinya ion ini disebut ionisasi. Ion-ion hasil ionisasi ini dapat menimbulkan efek atau pengaruh pada bahan/materi, termasuk benda hidup, yang berinteraksi oleh radiasi.

Radiasi bertinteraksi dengan salah satu atau kedua unsur pokok pembentuk materi, interaksi terjadi disebabkan daya tembus beberapa radiasi tergantung pada tipe dan energi radiasi juga sifat medium penyerap. Dalam segala hal eksitasi (pengaktifan) dan ionisasi dari atom-atom penyerap disebabkan oleh interaksi-interaksi atom tersebut dengan materi yang akhirnya energi yang dipindahkan ke jaringan atau materi pelindung radiasi dihamburkan sebagai panas .

2.2.3.1 Peraturan-peraturan yang mengatur tentang pemanfaatan sinar pengion.

1. National Council on Radiation Protection and Measurements no.49 (NCRP).

Tujuan dari perisai radiasi adalah untuk Mengurangi dosis efektif ekuivalen dari sinar gamma yang telah dikembangkan di luar ruangan ke tingkat yang cukup rendah . Ditentukan oleh masing-masing negara, tingkat ini adalah 0,02 mSv per minggu untuk area publik atau tidak terkontrol dan wilayah dibatasi dari akses publik (yaitu, daerah " dikendalikan") dan peraturan hanya oleh pekerja, batas ini adalah 0,4 mSv / minggu. Perisai diperlukan dihitung berdasarkan beban kerja mingguan dari mesin, jarak dari target ke isocenter. Kepadatan beton cukup bervariasi, Tergantung pada daerah negara, standar obyektif adalah 2,35 g/cm³ kepadatan (147 lb/ft³).

2. International Atomic Energy Agency (IAEA . no.115).
IAEA secara khusus berwenang di bawah ketentuan Statuta untuk menetapkan standar keselamatan untuk perlindungan kesehatan dan meminimalkan bahaya bagi kehidupan. Dengan berkonsultasi dengan PBB dan khususnya instansi terkait, berusaha untuk menetapkan standar untuk proteksi radiasi dan keselamatan .
3. Undang–Undang nomor 10 tahun 1997.
Undang–Undang ketenaganukliran mengenai hal yang berkaitan dengan pemanfaatan, pengembangan, dan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir serta pengawasan kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir.
4. Peraturan Pemerintah nomor 29 tahun 2008 .
Peraturan Pemerintah yang mengatur tentang pemanfaatan bahan nuklir. Pemanfaatan bahan nuklir adalah kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir yang meliputi penelitian, pengembangan, penambangan, pembuatan, produksi, pengangkutan, penyimpanan, pengalihan, ekspor, impor, penggunaan, dekomisioning, dan pengelolaan limbah radioaktif untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat.
5. Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) adalah Badan Pengawas yang bertugas melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir no.21/Ka – BAPETEN /XII – 02 Tentang Program Jaminan Kualitas Instalasi Radioterapi selanjutnya disingkat PJKIR adalah kegiatan yang sistematis dan terencana yang ditujukan untuk memastikan bahwa dosis radiasi dan geometri sasaran yang diberikan kepada pasien akurat, dapat mematikan sel-sel tumor secara efektif, dan masih dalam batas toleransi bagi jaringan

sehat di sekitarnya, untuk menjamin keselamatan, keamanan, ketentraman, dan kesehatan pasien, pekerja radiasi dan anggota masyarakat, serta untuk perlindungan terhadap lingkungan hidup.

2.2.3.2 Atom *cobalt- 60* dan Spesifikasi Pesawat *Cobalt – 60*.

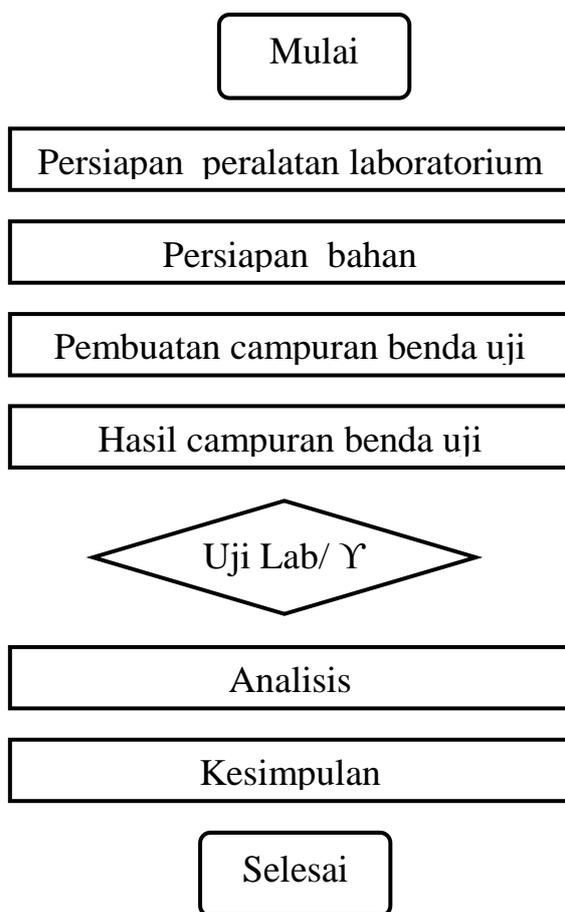
Atom *Cobalt–60* adalah [feromagnetik](#) logam dengan [berat jenis](#) sebesar 8,9. *Cobalt* murni tidak ditemukan di alam, tetapi senyawa dari *Cobalt* yang umum. Sejumlah kecil itu ditemukan di sebagian besar batu, tanah, tumbuhan, dan hewan. Para [suhu Curie](#) adalah 1.115°C dan momen magnetik adalah 1,6-1,7 [Bohr magnetons](#) per [atom](#) . Di alam, sering dikaitkan dengan nikel, dan keduanya merupakan komponen kecil karakteristik [besi meteorit](#) . Co yang paling stabil ⁶⁰ dengan [waktu paruh](#) dari 5,2714 tahun.

Pelemahan radiasi gamma *Cobalt* secara kualitatif berbeda dengan radiasi-radiasi *alfa* dan *beta*. Radiasi alfa dan beta merupakan radiasi *korpuskuler* yang memiliki jangkauan – jangkauan yang pasti dalam materi dan dengan demikian radiasi dapat diserap semuanya tetapi radiasi gamma *Cobalt* hanya dapat direduksi intensitasnya dengan menambah ketebalan penyerap, radiasi gamma tidak dapat diserap sepenuhnya .

Pesawat *cobalt-60* merupakan tempat sumber sinar pengion *Cobalt-60*, dengan dilengkapi kemampuan perputaran gantry, collimator dan meja, sehingga pelayanan kepada pasien lebih maksimal, supaya lebih mudah memahami, perhatikan gambar 2.5 :

III. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian.



3.2 Prosedur Pengujian.

Dalam penelitian ini prosedur pengujian dengan mengumpulkan hasil uji material dengan laboratorium teknik sipil Universitas Dr Soetomo, hasil kuat tekan dan densitas beton dengan laboratorium teknik sipil ITS. Untuk pengujian dengan sinar pengion *Cobalt -60* dengan pesawat *Cobalt -60* RSUD Dr Soetomo dengan ketebalan beton 0,30,60,90 dan 120 cm pada 2 varian benda uji (beton normal dan beton dengan *fly ash*). Masing masing

ketebalan beton pada 2 varian benda uji diekspos dua kali dengan waktu tiap ekspos 1 menit.

3.3 Teknik Analisis Data

3.3.1 Cara analisis dengan laboratorium teknik sipil.

Hasil analisis teknik sipil pada nilai kuat tekan dan densitas beton pada pengujian beton normal (tanpa *fly ash*) dipakai sebagai acuan / pembandingan terhadap hasil nilai kuat tekan dan densitas beton yang telah diberi bahan tambah *fly ash*. Kemudian hasil laboratorium dibuat matrik dan grafis untuk menjelaskan hubungan antara kadar *fly ash* terhadap kuat tekannya pada beton umur 28 hari. Dari hasil tersebut akan diketahui beton yang memenuhi syarat sebagai perisai terhadap sinar pengion *Cobalt-60* yang berenergi 1,25 MeV.

3.3.2. Cara analisis dengan sinar pengion *Cobalt - 60*.

Hasil *mix design* beton yang terbentuk silinder diberi sinar pengion *Cobalt-60* pada area 10 X 10 cm dengan ketebalan beton yang telah ditentukan dengan asumsi daerah publik sehingga kebocoran paparan radiasi masih diperkenankan oleh aturan IAEA . (aman untuk publik) .

3.3.3 Cara analisis menghitung penghematan pada dinding beton perisai sinar pengion *Cobalt-60* di RSUD Dr Soetomo.

Penghitungan kebutuhan beton total untuk dinding perisai alat *Cobalt-60* RSUD DrSetomo, dengan beberapa asumsi, yaitu :

1. Bagian atas ruang alat sinar pengion *Cobalt-60* tidak ada aktifitas manusia (udara bebas).

2. Bagian bawah ruang alat sinar pengion *Cobalt-60* tidak ada aktifitas manusia (tanah).
3. Perhitungan berdasarkan gambar *blue print* ruang alat sinar pengion *cobalt-60* dengan perbandingan 1: 50 .
4. Perhitungan berdasarkan hasil campuran beton penelitian ini.

IV. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Diskripsi Data

4.1.1 Analisis Bahan

Semua hasil-hasil percobaan diatas, dibuat tabel rekapitulasi hasil pengujian material dan syarat batas agregat yang diperbolehkan, seperti tabel 4.1 dibawah ini:

Material	Uraian/ Item	Syarat batas	Hasil Test Lab	Ket.
Semen	Berat Jenis Semen	Max = 3.7	3,35	OK
	Konsistensi Semen		Kadar = 76,8 cc Kadar = 29,3% Penurunan 10 mm	OK
	Waktu Pengikatan dan Pengerasan Semen		Pengamatan ke 7 Waktu Penurunan 135 menit Penurunan 10 mm	OK
Pasir	Berat Jenis Pasir	2,1 – 2,6	2,43	OK
	Air resapan pasir	Max = 3,5%	3,09%	OK
	Kelembapan Pasir	Max = 6%	2,36%	OK
	Berat Volume Pasir	1,25 – 1,59 gr/cm ³	1,41 gr/cm ³	OK
	Test Kebersihan Pasir Lumpur	Max = 5%	3,09%	OK
	Test Kebersihan Pasir Terhadap Bahan Organik	Warna Kuning Muda	Coklat Muda	NO OK
	Analisa Saringan Pasir		Terdapat pada gradasi Zone 2	OK

Batu pecah	Berat Jenis Batu pecah	2,3 – 2,75	2,61	OK
	Air resapan Batu pecah	Max = 2%	1,01%	OK
	Kelembapan Batu Pecah	Max = 1%	0,81%	OK
	Berat Volume Batu Pecah	1,35 – 1,75 gr/cm ³	1,5 gr/cm ³	OK
	Test Kebersihan Batu Pecah Lumpur (Pencucian)	Max = 5 %	3,55%	OK
	Saringan Batu pecah		Ukuran max 40 mm	OK

4.1.2 Perencanaan Campuran Beton (*MIX DESIGN*)

Dalam penelitian yang dilakukan perencanaan *mix design* beton normal di rencanakan 30 Mpa - 40 Mpa pada umur 28 hari.

Tabel 4.2 Mix Design Beton Normal

NO	Uraian	Nilai	Tabel/Grafik /Hitungan
1	Kuat tekan yang disyaratkan f'c (benda uji silinder)	30 Mpa	Ditetapkan bagian cacat 5% K = 1,64
2	Deviasi standar	7 Mpa	Volume beton
3	Nilai tambah (M)	12 Mpa	1,64 X 7 = 11,48
4	Kuat tekan yang ditargetkan f'cr	42 Mpa	(1)+(3) = 30 + 12 = 42
5	Jenis semen	Type 1	di tetapkan
6	Jenis agregat • Kasar • Halus	Batu pecah Alami	Ø max 40 mm Pasir lumajang
7	Faktor Air Semen Maksimum	0,42	Ditetapkan lamp.3
8	Slump	25 – 100 mm	Ditetapkan lamp.1
9	Ukuran agregat maksimum	40 mm	Ditetapkan
10	Kadar air bebas	173 kg/m ³	Ditetapkan (lamp.2)
11	Jumlah semen	411,9 kg/m ³	(11) / (8)
12	Jumlah semen maksimum	-	
13	Jumlah semen minimum	325 kg/m ³	
14	Jumlah semen yag	411,9	(12) > (14)

	dipakai	kg/ m ³	
15	Fakor air semen yang dis esuaikan	0,4	Ditetapkan (lamp.3)
16	Susunan butir agregat halus	Daerah garadasi 2	Ditetapkan
17	Susunan butir agregat kasar	-	Diketahui masuk zona
	Atau gabungan	-	A dan B
18	Persen agregat beton	30 %	Grafik 3/ 4/ 5
19	Berat jenis relatif agregat SSD	2,52	
20	Berat isi beton	2350 kg/ m ³	Ditetapkan (lamp.6)
N0	Uraian	Nilai	Tabel/Grafik /Hitungan
21	Kadar agregat gabungan	1938,1 kg/ m ³	(21) – (15)= 1938,1
22	Kadar agregat halus	678,34 kg/ m ³	35 % X (22) ditetap
23	Kadar agregat kasar	1259,76 kg/ m ³	65%x(22) ditetap
2 4	Proporsi campuran koreksi Tiap m ³	Semen : 412 Air : 173	Pasir :678 Batu pecah : 1259

4.1.3 Hasil Perencanaan Campuran Beton.

Tabel 4.3 Proporsi campuran yang dibutuhkan 12 benda uji Silender.

Bahan Campuran	Varian Campuran	
	Campuran Normal	Campuran dg <i>Fly ash</i>
Air (kg)	12,1	12,1
Semen (kg)	28,2	25,38
Fly Ash (kg)	-	2,82
Pasir (kg)	47,43	47,43
Kerikil (kg)	88,07	88,07
Superplastizer(1%)	0,282	0,3

4.2 Hasil Temuan Penelitian.

4.2.1 Pengujian Kuat Tekan Beton dan Densitas Beton.

4.2.1.1 Pengujian Kuat Tekan Beton .

Hasil pengujian Kuat Tekan beton yang dilakukan dilaboratorium teknik sipil pada beton normal diperoleh data-data yang ada ditabel 4.4 , seperti dibawah ini:

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan (Beton Normal) pada Umur 28 hari

No	Berat (Kg)	Tekanan Tekan (ton)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	KuatTekan Umur 28 hari rerata (Kg/cm ²)
1	12,58	78,00	432,7	
2	12,60	58,00	321,8	374,3
3	13,38	66,00	368,4	

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan *fly ash* Umur 28 hari

No	Berat (Kg)	Tekanan Tekan (ton)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	KuatTekan Umur 28 hari rerata (Kg/cm ²)
1	13,31	86,00	471,1	
2	12,46	67,40	373,9	426,3
3	12,36	78,20	433,9	

4.2.1.2 Pengujian densitas / berat jenis beton

Hasil pengujian densitas / berat jenis beton yang dilakukan dilaboratorium teknik sipil pada beton normal dan beton *fly ash* 10% diperoleh data-data yang ada ditabel 4.6, seperti dibawah ini:

Tabel 4.6. Hasil pengujian berat jenis beton normal (BN) dan beton *fly ash* (BMF) pada Umur 28 hari.

NO	URAIAN	HASIL UJIAN		SATU AN
		BN	BMF	
1	Berat SSD (a)	5231	4378	gram
2	Berat dalam air(b)	3040	2572	gram
3	Berat kering (c)	5054	4218	gram
4	Berat jenis beton / Densitas : a / a-b	2,38	2,42	gr /cm ³
5	Resapan = (a-c /c) X 100 %	3,5	3,79	%

Hasil pengujian densitas / berat jenis beton pada beton normal dan beton *fly ash* 10% menunjukkan ada peningkatan sebesar 0,04 gr /cm³ atau sebesar 2 %.

4.2.2 Pengujian Sinar Pengion *Cobalt* – 60

4.2.2.1 Pengujian sinar pengion *Cobalt* – 60 pada beton normal.

Pengujian sinar pengion *Cobalt* – 60 berenergi 1,25 MeV di laksanakan di RSUD Dr Soetomo Surabaya , laju paparan / aktifitas sinar pengion pada area 100 cm² tahun 2010 1469,6 mGy per jam (BATAN).

Hasil pengujian sinar pengion *Cobalt* – 60 pada beton normal ada di tabel 4.23 dibawah ini :

Tabel 4.7 Hasil pengujian sinar pengion pada Beton Normal (BN) pada Umur 28 hari.

NO	KETEBALAN BETON (cm)	PENGAMATAN			KET
		1	2	3	
1	0	+	+	+	A
2	30	+	+	+	B
3	60	-	-	N/A	C
4	90	-	-	N/A	D
5	120	-	-	N/A	E

4.2.2.2 Hasil pengujian sinar pengion *Cobalt-60* pada beton *fly ash* 10%.

Pengujian sinar pengion *Cobalt - 60* berenergi 1,25 MeV di laksanakan di RSUD Dr Soetomo Surabaya , laju paparan / aktifitas sinar pengion pada area 100 cm² tahun 2010 1469,6 mGy per jam (BATAN).

Hasil pengujian sinar pengion *Cobalt - 60* pada beton *fly ash* 10 % ada di tabel 4.24 dibawah ini :

Tabel 4.8 Hasil pengujian sinar pengion pada Beton *fly ash* 10 % (BMF) pada Umur 28 hari.

NO	KETEBALAN BETON (cm)	PENGAMATAN			KET
		1	2	3	
1	0	+	+	+	A
2	30	+	+	+	B
3	60	-	-	N/A	C
4	90	-	-	N/A	D
5	120	-	-	N/A	E

Keterangan :

A	Gambar persegi empat jelas
B	Gambar persegi empat kurang jelas tetapi angka 30 ada
C	Gambar persegi empat dan angka hilang , tetapi gambar lingkaran agak jelas
D	Gambar persegi empat dan angka hilang tetapi gambar lingkaran samar
E	Semua gambar hilang (bening)

Berdasarkan pengamatan pada film X-ray , maka sinar pengion *Cobalt - 60* mampu menembus pada beton *fly ash* dengan ketebalan 30 cm tetapi tidak mampu menembus beton dengan ketebalan 60 cm.

4.2.3 Penghitungan Penghematan Dengan Beton *Fly Ash* 10%.

Berdasarkan pada gambar 3.2 ruang tempat alat *Cobalt-60* di RSUD Dr Soetomo, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

A. Menghitung keliling dinding :

1. Panjang dinding A : 1200 cm + 2 (110 cm) = 1.420 cm

2. Panjang dinding B : 1200 cm + 2 (110 cm)= 1.420 cm

3. Panjang dinding C : 887.5 cm

4. Panjang dinding D : 4 / 0.8 X 110 cm = 550 cm

5. Panjang dinding E : 4 / 0.8 X 110 cm = 550 cm

Jumlah keliling dinding adalah= 4.827.5 cm = 48,275 m

B. Tinggi dinding adalah 5 m

C. Tebal dinding adalah 110 cm = 1,1 m

Maka volume beton adalah A X B X C = 265,5125 m³ .

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.1 perencanaan campuran beton diatas, dimana tiap satu m³ dihasilkan 412 kg, sehingga bisa dihitung penghematan bila memakai *fly ash* 10% pada beton dinding perisai alat *Cobalt-60* , yaitu :

Jumlah volome beton yang dibutuhkan : 265,5125 m³ .

Jumlah semen tiap satu m³ adalah 412 kg , maka kebutuhan *fly ash* tiap satu m³ adalah 10% X 412 kg = 41,2 kg. sehingga kebutuhan *fly ash* adalah : 41,2kg / m³ X 265,5125 m³ = 10.939,115 kg

Harga semen Rp 1.250/kg ,harga *fly ash* Rp 375/kg , maka ada selisih harga Rp 875/ kg. Sehingga ada penghematan Rp 875 /kg X 10.939,115 = Rp 9.571.725,625

4.3 Pembahasan

4.3.1 Pembahasan hasil uji laboratorium teknik Sipil.

National Council on Radiation and Measurement no.49 (NCRP) .

Persyaratan beton sebagai perisai radiasi adalah kepadatan / densitas beton minimal 2,35 gram per cm³ .

Dari hasil uji laboratorium pada *mix design* beton normal didapatkan hasil 2,39 gram per cm³ sedangkan dengan

kandungan *fly ash* 10 % didapatkan hasil 2,42 gram per cm^3 .
Jadi memenuhi syarat sebagai beton untuk proteksi radiasi.

4.3.2 Pembahasan hasil uji Sinar Pengion *Cobalt – 60*.

Pada uji sinar pengion *Cobalt – 60* berenergi 1,25 MeV didapatkan hasil, bahwa sinar pengion *Cobalt – 60* pada beton normal maupun beton dengan kandungan *fly ash* 10 % hanya mampu menembus pada ketebalan beton 30 cm dan tidak mampu menembus pada ketebalan beton 60 cm .

Jadi kedua variasi beton (beton normal dan beton *fly ash* 10%) mampu menahan sinar pengion *Cobalt – 60* pada ketebalan 60 cm atau kedua variasi beton mempunyai sifat atenuasi yang sama pada sinar pengion *Cobalt – 60*.

4.3.3 Pembahasan hasil perhitungan dengan pemanfaatan *fly ash* 10% terhadap dinding perisai alat *Cobalt-60* di RSUD Dr Soetomo.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan terhadap dinding perisai alat *Cobalt-60* di RSUD Dr Soetomo dihasilkan penghematan biaya sebesar Rp 9.571.725,625.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil uji laboratorium teknik sipil .
Beton dengan kandungan *fly ash* 10 % mempunyai kepadatan beton (densitas) 2,42 gram per cm^3 , sehingga memenuhi syarat untuk beton perisai terhadap sinar pengion *Cobalt – 60* berenergi 1,25 MeV.

2. Hasil uji sinar pengion *Cobalt – 60*.
Beton dengan kandungan *fly ash* 10 % dengan ketebalan 60 cm , mampu menahan pada sinar pengion *Cobalt – 60* berenergi 1,25 MeV, dengan aktifitas 1469,6 m Gy per jam (BATAN.2010).
3. Hasil perhitungan penghematan .
Penggunaan *fly ash* 10% pada dinding perisai alat *Cobalt-60* akan menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp 9.571.725,-

5.2 Saran

1. Akurasi penelitian akan lebih baik , bila alat deteksi sinar pengion berupa detektor digital. Dengan alat detector digital , kemampuan beton *fly ash* menahan sinar pengion cobalt-60 akan lebih terukur dengan pasti.
2. Variasi kandungan *fly ash* pada *Mix design* beton, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut diharapkan kandungan *fly ash* terbanyak tapi masih memenuhi syarat batas densitas yang diperbolehkan ($2,35 \text{ gr} / \text{cm}^3$), sehingga pemakaian *fly ash* yang banyak pada beton akan berdampak pada minimalisasi limbah batubara.
3. Semakin banyak kandungan *fly ash* yang digunakan pada dinding perisai alat *Cobalt-60* ,maka penghematan biaya yang akan dihasilkan semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengawas Tenaga Nukir :
(BAPETEN).2002.SK
Ka.BAPETEN No.21/Ka-
BAPETEN/XII – 02 . *Program
Jaminan Kulit Instalasi
Radioterapi.*
- International Atomic Energy Agency
(IAEA.no.115).1996: *Standar Inter-
nasional Keselamatan Dasar
Perlindungan terhadap Radiasi
Pengion dan untuk Keselamatan
Sumber Radiasi.*

Herman Cember ,1983 : *Pengantar Fisika Kesehatan*

Mardiono,Jurnal:*Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (fly ash) Dalam Beton Mutu Tinggi* Muhamad Abduh , 1996 : *Sifat proteksi Beton Mutu Tinggi Terhadap Radiasi Gamma 0,661 MeV.*

Paul Nugraha , Antoni , 2007 : *Teknologi Beton,Material,Pembuatan ke Beton*

Sri Prabandiyani Retno Wardani,2008 : *Pemanfaatan Limbah Batubara (FLY ASH) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan . Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.*