

2. Tinjauan Karakteristik Bahan Penyusun Beton Berpori dengan Penggunaan Flyash dan Superplasticizer untuk Perkerasan Jalan Ramah Lingkungan

by Ade Okvianti I

Submission date: 12-Feb-2024 09:55AM (UTC+0700)

Submission ID: 2292304944

File name: ashdan_SuperplasticizeruntukPerkerasanJalan_Ramah_Lingkungan.pdf (701.05K)

Word count: 5262

Character count: 28455

Tinjauan Karakteristik Bahan Penyusun Beton Berpori dengan Penggunaan *Flyash* dan *Superplasticizer* untuk Perkerasan Jalan Ramah Lingkungan

Ade Okvianti Irlan¹; Grace Kurniawati²; Muhammad Sofyan³

^{1,2}Departemen Teknik Sipil, Universitas Trisakti, Jakarta

³Intitut Teknologi PLN, Jakarta

¹ade.okvianti@trisakti.ac.id

ABSTRACT

Since the changes of land use especially in Jakarta urban city is increased, the catchment area of rain-water is decreased, due to the impervious surface is covered by residential buildings, commercial buildings and rigid pavements, which cause the time of rain-water to gather is shorter than usual and also flood. Therefore, to increase rain-water infiltration to the ground surface, the environmental-insightful drainage technology such as porous concrete can be used. Porous concrete is a special concrete that has cavity and high porous so water can be passed. The material of porous concrete consists of cement, water, coarse aggregates, and a small portion of fine aggregates or without fine aggregates. The main purpose of this study is to investigate the chemical and physical characteristics of porous concrete material. Laboratory experimental method is used on this research. As a result, fly ash material has an amount of silicate dioxide (SiO_2) aluminum (Al_2O_3) and iron (Fe_2O_3) by 83.35% and CaO 10.43%, including class F fly-ash, greater than 70%; while chemical content of Semen Jakarta of PT. Semen Conch Prakarsa Indonesia is (C3S) 60.17%; (C2S) 11.43%; (C3A) 8.68%; (C4AF) 10.41%, and an OPC type 1 cement. The result of fly-ash and cement physical testing is specific gravity of fly-ash 2.54 and is qualified as fly-ash material and the specific gravity of cement 2.98, which is smaller than specific gravity of cement in general. Physical testing of coarse aggregate from point of view of specific gravity, absorption, and fine modulus is qualified as coarse aggregate.

Keywords: Porous concrete, flyash, cement, coarse aggregate

ABSTRAK

Perubahan tata guna lahan di perkotaan khususnya di Jakarta semakin meningkat, sehingga mengakibatkan semakin berkurangnya daerah resapan air hujan, dikarenakan luas daerah resapan yang ditutupi bangunan perumahan, perkantoran, perkerasan beton menyebabkan waktu berkumpulnya air jauh lebih pendek dan banjir. Oleh karena itu, teknologi drainase berwawasan lingkungan seperti beton berpori dapat digunakan. Beton berpori adalah beton khusus yang memiliki rongga serta porositas yang tinggi dan mudah untuk dilewati air. Material penyusun dari beton berpori terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar dan sedikit agregat halus atau tanpa agregat halus. Tujuan utamanya untuk mengetahui karakteristik kimia dan karakteristik fisis dari material penyusun beton berpori. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium. Dari hasil analisis diperoleh material flyash memiliki jumlah silikat dioksida (SiO_2) aluminium (Al_2O_3) dan besi (Fe_2O_3) sebesar 83,35% dan CaO 10,43%, termasuk fly-ash kelas F yaitu lebih besar dari 70%. Sedangkan pada semen, hasil dari PT. Semen Conch Prakarsa Indonesia, kandungan kimia Semen Jakarta (C₃S) 60,17%; (C₂S) 11,43%; (C₃A) 8,68%; (C₄AF) 10,41%, dan merupakan semen OPC type 1. Pengujian fisik fly-ash dan semen diperoleh berat jenis fly-ash 2,54 dan memenuhi syarat sebagai material fly-ash dan untuk berat jenis semen 2,98 lebih kecil dari syarat berat jenis semen pada umumnya. Pengujian fisis agregat kasar ditinjau dari berat jenis, penyerapan dan modulus halus butir memenuhi syarat sebagai agregat kasar

Kata kunci: Beton berpori, flyash, Semen, agregat kasar

1. PENDAHULUAN

Populasi penduduk tahun 2050 akan berpotensi mencapai 2,5 milyar penduduk di perkotaan [1]. Peningkatan populasi yang berkelanjutan mengakibatkan perubahan tata guna lahan sehingga bertambahnya luas daerah resapan yang ditutupi bangunan perumahan, perkantoran, perkerasan beton menyebabkan waktu berkumpulnya air jauh lebih pendek. Perubahan fungsi lahan tersebut telah memperluas lapisan kedap air atau luasan tanah tertutupi oleh bangunan sehingga resapan ke tanah hanya 20% yang terserap selebihnya 80% mengenai perumahan dan jalan raya hingga banjir. Sebagai upaya mengurangi banjir atau mengurangi limpasan/menyerap limpasan permukaan sehingga teknologi drainase berwawasan lingkungan seperti beton lulus (*pervious concrete*) dapat digunakan.

Pervious concrete/porous concrete atau beton berpori adalah beton khusus yang memiliki porositas 15% hingga 30% dari total keseluruhan volumenya yang mampu dilewati oleh air [2]. Untuk mendapatkan porositas yang tinggi maka digunakan material penyusun beton *porous* yang terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar dan sedikit agregat halus atau sama sekali tanpa agregat halus [3]. Dan beton yang tembus air dihasilkan dari penggunaan agregat halus, gradasi yang seragam dan nilai rasio air semen yang rendah [4]. Rasio air dan semen (w/c) serta ukuran agregat memiliki pengaruh kekuatan, permeabilitas serta kemudahan lolos air [5]. Semen adalah material dasar yang sangat penting dalam pembuatan beton, namun pada produksi semen portland (OPC) membutuhkan energi yang besar dan menghasilkan limbah karbon dioksida CO₂ yang jumlahnya sangat besar, dan berdasarkan pengamatan para ahli tentang pemanasan global, produksi emisi gas CO₂ dialam adalah berasal dari produksi semen dan setiap pengurangan 1 ton produksi semen maka akan terjadi pengurangan 1 ton emisi gas CO₂ [6], sehingga hal ini mendorong para peneliti konstruksi bangunan untuk mencari material alternatif pengganti atau sebagai substitusi semen.

Material alternatif yang banyak digunakan sebagai bahan substitusi atau pengganti semen yaitu *fly-ash* dan *slaq*. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia menetapkan target produksi batubara nasional sebesar 550 juta ton pada tahun 2020 dan sekitar 155 juta ton dipergunakan untuk kebutuhan domestik [7], dan sisa limbah pembakaran batu bara tersebut banyak dimanfaatkan oleh pabrik – pabrik lokal sebagai campuran dalam pembuatan semen. *fly-ash* merupakan sisa-sisa pembakaran yang bersifat pozzolanik dan dapat digunakan sebagai bahan tambah mineral yang baik untuk beton. Pozzolan memiliki kandungan silika dan aluminium yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada temperatur biasa sehingga membentuk senyawa bersifat *cementitious* atau bersifat mengikat [8]. Abu terbang atau *fly-ash* didefinisikan sebagai butiran halus dari sisa pembakaran batubara atau bubuk batubara [8,9,10], dan *fly-ash* mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu (45 mili mikron) 5-27% yang lolos ayakan NO. 325, dengan *specific gravity* antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman [11]. *High volume fly ash (HVFA) concrete* adalah beton dimana jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan oleh *fly-ash* baik berupa kelas F maupun kelas C sekitar 50% [12]. Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO₂), aluminium (Al₂O₃), besi (Fe₂O₃) dan kalsium (CaO), serta magnesium, potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit [13]. Kategori *fly-ash* yaitu kelas C - *fly-ash* yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara (batu bara muda). Kandungan kimia (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) > 50%, dan kadar CaO mencapai 10% dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari total berat binder. Kelas F - *fly-ash* yang mengandung CaO lebih kecil 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara, dan kadar (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) > 70% serta Kadar CaO < 5% Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25%

dari total berat binder [14]. Sedangkan pada semen portland material utamanya berupa batu kapur yang mengandung komponen-komponen utama CaO (kapur) dan tanah liat yang mengandung komponen-komponen SiO₂ (silica), Al₂O₃ (alumina), Fe₂O (oksida besi), MgO (magnesium), SO₃ (sulfur) serta Na₂+K₂O (soda/potash). sedangkan bahan penyusun semen lainnya yang jumlahnya kecil dari berat semen yaitu MgO, TiO, Mn₂O₃, K₂O, dan Na₂O [15].

Penelitian [16] penggunaan *fly ash* hingga 25% dapat meningkatkan kuat tarik belah beton porous. Selain itu, Ukuran agregat yang lebih besar menghasilkan void yang lebih besar, sehingga menyebabkan permeabilitas yang besar dan juga menurunkan kekuatan. [17,18]. Gradasi agregat beton berpori mempengaruhi kekuatan dan permeabilitas, ukuran agregat kasar 9.5 – 12.5 mm menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi daripada ukuran agregat 2,36 – 9.5 mm dengan porositas yang sama karena jumlah pasta yang lebih tinggi. [19,20]. Sementara agregat halus dapat meningkatkan distribusi pasta semen dengan demikian meningkatkan kekuatan tekan dan kekuatan lentur [19,21,22]. Penggunaan *silica fume*, *superplasticizer* dan polimer dapat menghasilkan kekuatan beton berpori (32-46) MPa [19,23]. Selain itu, Penggunaan limbah lain seperti gerabah pada beton berpori menghasilkan porositas yang besar [24]. Beton berpori dengan menggunakan abu sekam secara keseluruhan kuat tekan meningkat pada umur 14 hari tetapi umur 28 hari mengalami penurunan, sedangkan beton berpori dengan menggunakan *fly ash* terus meningkat hingga umur 28 hari [25]. Untuk penggunaan bahan tambah menurut ASTM C494, [26], *superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif dengan tujuan menambah mutu beton dan atau membuat beton lebih. Secara sederhana *superplasticizer* berfungsi membuat adukan lebih encer dengan air yang lebih sedikit dan *superplasticizer* berada pada klasifikasi tipe A.

Penelitian ini menggunakan material *fly ash* dan semen type 1 (OPC), *fly ash* sebagai bahan substitusi semen dan agregat kasar yang dipakai berukuran 1-2 cm serta menggunakan bahan tambah *Crown 9 additive* dengan tujuan utamanya adalah mengetahui karakteristik awal dari pengujian fisik dan kimia material bahan penyusun beton berpori pada perkerasan jalan ramah lingkungan.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode studi literatur dan metode eksperimen di laboratorium. Metode studi literatur digunakan sebagai referensi untuk mengembangkan penelitian di lakukan serta memperkuat data dan argumentasi sehingga menghasilkan informasi yang valid. Sedangkan metode eksperimen dilakukan dengan uji fisik dan uji kimia, untuk pengujian fisik dilakukan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti, dan uji kimia di lakukan di Laboratorium Riset UPP IPD Fakultas Ilmu Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

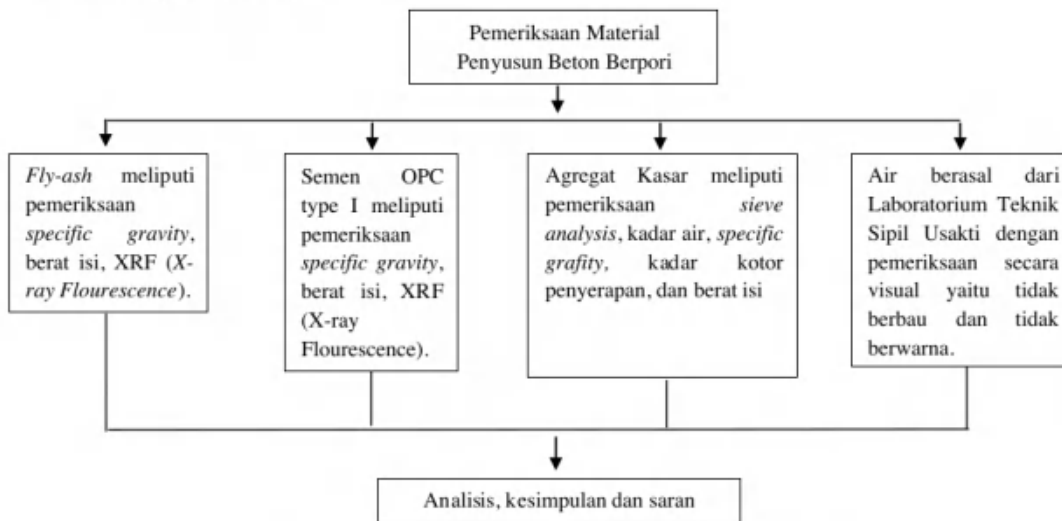
2.1. Material Penelitian

Material yang digunakan dalam pembuatan beton berpori yaitu semen, air, agregat kasar/batu pecah, *fly ash* dan *superplasticizer*.

Tabel 1. Material dan Sumber Penelitian

No	Jenis material	Sumber
1	Semen OPC tipe 1	Portland Semen Jakarta
2	Air	Laboratorium Beton Universitas Trisakti
3	Agregat Kasar	Jakarta Barat, Maksimum 10 mm
4	<i>Superplasticizer</i>	PT. Crown Cahaya Indonesia
5	<i>Fly Ash</i>	PT.Tjiwi Kimia

2.2. Tahapan Penelitian



Gambar 1. Alur Penelitian Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton Berpori

2.3. Pengujian Fisik Material Penyusun Beton Berpori

Pemeriksaan material dilakukan dengan pemeriksaan fisik dengan mengacu standar nasional Indonesia yaitu: SNI 15-2531-1991, SNI 03-1973-2008, SNI 03 – 2461 -2002, SNI 1969:2008, ASTM C618

1. Pemeriksaan dan Pengujian Semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) type I dan *fly ash* mengacu pada peraturan SNI 15-2531-1991 [27] dan SNI 03-1973-2008 [28]

Pemeriksaan semen dilakukan dengan melihat tanggal produksi dan melihat semen tidak terjadi pengumpalan/tidak keras. selain itu, Jika semen yang masih baik ditabur di atas air, maka akan mengambang/mengapung sejenak sebelum mengendap, dan jika tangan dimasukkan ke dalam bubuk semen yang masih baik, akan terasa dingin dan juga Pemeriksaan tanggal produksi untuk mengetahui lama penyimpanan semen.

Dan berdasarkan SNI 15-2531-1991 [27] Pengujian berat jenis semen dengan rumus:

$$\text{Berat isi} = \frac{\text{Berat material}}{\text{Volume wadah ukur}} \quad (1)$$

$$d = \frac{\text{massa semen (gram)}}{\text{kepekatan air } 4^{\circ}\text{C}}, \quad (2)$$

$$\text{Berat jenis} = \frac{\text{Kepekatan (density) semen}}{\text{kepekatan air } 4^{\circ}\text{C}}, \quad (3)$$

Notasi: Kepekatan (density) air pada temperature 4°C adalah $1 \text{ gr/cm}^3 = 3,16 \text{ gr/ml}$

2. Pengujian Agregat kasar

Menurut SNI 03 – 2461 -2014 [29] Agregat kasar adalah agregat yang memiliki ukuran lebih dari 4,75 mm atau ukuran maksimumnya 40 mm. Agregat ini harus memenuhi syarat kekuatan, bentuk, tekstur maupun ukuran. Agregat kasar yang baik bentuknya bersudut dan pipih (tidak bulat/blondos) serta tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% apabila kandungan lumpur lebih dari 1% maka agregat harus dicuci dan juga serta tidak mengandung zat-zat yang merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif dengan alkali. Pengujian agregat kasar meliputi, pemeriksaan *sieve analysis*, kadar air, pengujian kekerasan, *specific gravity*, penyerapan, kadar kotor agregat, dan berat isi.

a. Berdasarkan SNI 15-2531-1991 [27] kadar kotoran agregat kasar

$$\text{Kadar kotoran} = \frac{\text{Berat split kotor} - \text{Berat split kering}}{\text{Berat split kotor}} \times 100\% \quad (4)$$

b. Mengacu pada SNI 1969:2008 [30], Berat isi, berat jenis dan penyerapan.

Berat isi agregat kasar dalam kondisi gembur dan padat, sedangkan penentuan *bulk specific gravity*, *apparent specific gravity* dan absorption dari koral/split. *Bulk specific gravity* pada umumnya digunakan untuk perhitungan volume bahan dicampur dalam beton.

$$\text{Bulk specific gravity (berat jenis curah kering)} = \frac{A}{B-C} \quad (5)$$

$$\text{Saturated surface dry (jenuh kering permukaan jenuh)} = \frac{B}{B-C} \quad (6)$$

$$\text{Apparent specific gravity (berat jenis semu)} = \frac{A}{A-C} \quad (7)$$

$$\text{Absorption (penyerapan)} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana:

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

C = berat benda uji dalam air (gram)

c. Sieve Analysis Agregat Kasar (analisa ayakan)

Pengujian *Sieve Analysis* bertujuan untuk mengetahui ukuran butir daripada agregat kasar [31]. Pada agregat kasar dikeringkan terlebih dahulu agar tidak ada material atau bahan lain yang menempel. Kemudian tiap agregat diayak menggunakan ayakan dengan diameter ayakan disusun dari paling bawah dengan saringan diameter paling kecil hingga paling atas dengan diameter ayakan paling besar.

3. Air

Menurut Kardiyono Tjokrodimulyo [32], untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% dari berat semen, namun dalam kenyataannya nilai f.a.s yang kurang dari 0,35 sulit dikerjakan karena beton yang mempunyai proporsi air yang sangat kecil menjadi kering

dan sukar dipadatkan. Untuk memenuhi syarat campuran beton, air yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang tidak berbau, tidak mengandung minyak, garam serta tidak mengandung zat-zat yang merusak beton yang berada di Laboratorium Beton Teknik Sipil Usakti, air

4. Pengujian Kimia

Uji Kimia yang telah dilakukan terhadap *fly-ash* dan semen sedangkan SP 9 *crowd additive* tidak dilakukan pengujian kimia. Tes XRF (*X-Ray Fluorescence*), dengan tujuan untuk mengetahui prosentase oksida meliputi Silicon dioxide, Aluminum oxide, Iron oxide, Calcium oxide, Magnesium oxide, Sulfur trioxide, Sodium oxide, dan Potassium oxide dari *fly ash* tersebut seperti yang telah ditetapkan dalam ASTM C618 [33]. Uji ini dilakukan Laboratorium Riset UPP IPD Fakultas Ilmu Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Kimia *fly-ash* dan Semen OPC type I

Hasil analisis komposisi kimia dari limbah Tjiwi Kimia dalam bentuk senyawa oksida yang meliputi beberapa paramater diantaranya kadar SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, K₂O, TiO₂, dan MnO, yang dinyatakan dalam % sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil uji kimia *fly-ash*

Element	Concentration	Unit	Element	Concentration	Unit
Al	10.45	%	Al ₂ O ₃	13.87	%
Si	25.87	%	SiO ₂	37.46	%
P	0.50	%	P ₂ O ₅	0.73	%
Cl	0.46	%	Cl	0.29	%
K	3.35	%	K ₂ O	2.48	%
Ca	12.50	%	CaO	10.43	%
Ti	1.66	%	TiO ₂	1.58	%
Mn	0.53	%	MnO	0.36	%
Fe	43.30	%	Fe ₂ O ₃	32.02	%
Sr	0.30	%	SrO	0.17	%
Ag	0.63	%	Ag ₂ O	0.33	%
Ba	0.47	%	BaO	0.26	%
Total	100.00	%	Total	100.00	%

Sumber: Laboratorium Riset UPP IPD Universitas Indonesia)

Tabel 3. Kandungan Kimia *Flyash* dari berbagai sumber penellti.

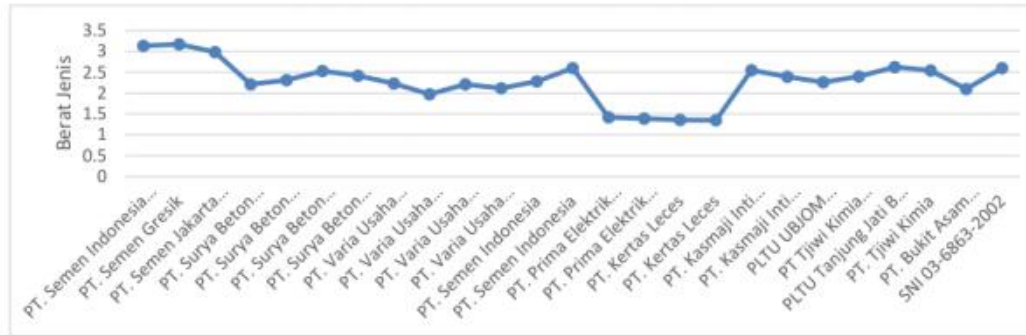
Sumber	Sumber <i>fly ash</i>	Berat Jenis	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
			%	%	%	%
Muhammad Bahrul Ulum dkk	PT. Semen Indonesia (OPC)	3,13	19,429	5,7009	3,51	63,14
Erwin Rommel dkk	PT. Semen Gresik	3,17	11,79	-	1,69	-
Peneliti	PT. Semen Jakarta OPC (Peneliti)	2,98	5.04	6.03	63.88	2,98

Lanjutan Tabel 3.

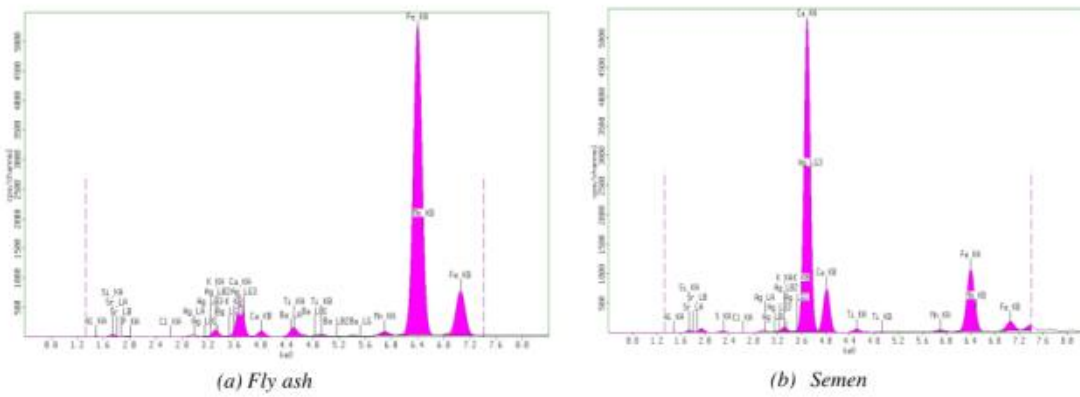
Sumber	Sumber fly ash	Berat Jenis	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
			%	%	%	%
Muhammad Bahrul Ulum, Januarti Jaya Ekaputri, Triwulan	PT. Surya Beton Indonesia	2,21	37,448	24,49	11,79	15,73
	PT. Surya Beton Indonesia	2,31	38,755	29,426	18,43	4,05
	PT. Surya Beton Indonesia	2,53	39,161	31,026	11,6	10,26
	PT. Surya Beton Indonesia	2,42	39,113	30,923	11,93	10,04
	PT. Varia Usaha Beton (Jepara)	2,23	40,425	34,27	10,67	2,24
	PT. Varia Usaha Beton (Jepara)	1,97	40,443	34,12	9,13	3,28
	PT. Varia Usaha Beton (Paiton)	2,21	37,287	32,225	10	4,42
	PT. Varia Usaha Beton (Paiton)	2,12	35,641	31,503	9,9	4,74
	PT. Semen Indonesia	2,28	41,17	34,478	11,54	1,89
	PT. Semen Indonesia	2,6	34,645	22,548	12,52	15,24
	PT. Prima Elektrik Power	1,42	33,107	27,391	17,88	8,94
	PT. Prima Elektrik Power	1,39	33,746	24,355	15,64	11,59
	PT. Kertas Lece	1,36	36,673	21,602	20,44	7,04
	PT. Kertas Lece	1,35	36,074	21,102	21,05	7,13
	PT. Kasmaji Inti Utama	2,55	42,607	24,079	4,22	16,35
PT. Kasmaji Inti Utama	2,39	39,963	44,559	2,34	1,67	
Gumilang, 2020	PLTU Pelabuhan Ratu	2,26	40,89	19,3	17	18,57
	PLTU UBJOM INDRAMAYU	2,26	43,74	16,88	21,74	11,10
Taki, 2009	PT Tjiwi Kimia Mojokerto	2,4	73,21	2,15	5,2	6,72
	PLTU Paiton Probolinggo	-	46	6,35	10,11	6,79
Eko Hindaryanto, 2010	PLTU Tanjung Jati B Jepara.	2,625	45,27	20,07	10,59	13,32
Peneliti	PT. Tjiwi Kimia	2,54	37,46	13,87	32,02	10,43
Nurzal, 2013	PT. Bukit Asam Sawahlunto (PLTU Sijantang Sawahlunto)	2,1	62,8	20,7	4,87	1,3
Andre Kusuma Putra, 2014	PLTU Amurang		36,23	6,25	4,34	2,85
SNI 03-6863-2002	Tipe C	2,6	50,9	15,7	5,8	9,3
	Tipe F		51,9	25,8	6,98	8,7
	Tipe N		58,2	18,4	9,3	3,3
ACI Manual of Practice 1993 Parts 1 226.3R-3	Tipe C	2,8	>50%			Mencapai 10%
	Tipe F		>70%			<5%

15

Fly-ash dan Semen portland mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi. Ke empat unsur ini merupakan unsur-unsur pokok dari dua material tersebut, dan unsur-unsur tersebut mempengaruhi fungsi dari material. Berdasarkan data hasil pemeriksaan pada Tabel 2, terlihat jumlah silikat dioksida (SiO₂) aluminium (Al₂O₃) dan besi (Fe₂O₃) sebesar 83,35 %. Persyaratan *fly ash* tipe F kandungan SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃>70% dan untuk *fly-ash* tipe C kandungan SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ > 50%. Terlihat pada Tabel 3 dari berbagai sumber peneliti terdahulu nilai CaO yang didapat bervariasi sehingga dapat diklasifikasikan sesuai dengan standar yang ada. *Fly-ash* tipe C umumnya mengandung CaO lebih dari 15% dan tipe F yang terdiri CaO kurang dari 5%, dapat dikatakan bahwa CaO adalah indikator yang terbaik dalam mengidentifikasi perilaku abu terbang di beton dan *fly-ash* dengan tingkat kalsium oksida yang tinggi meningkatkan kuat tekan yang tinggi [33,34].



Gambar 2. Berat jenis fly ash dari berbagai sumber.



Gambar 3. Analisa XRF terhadap fly-ash dan Semen
 (Sumber: Laboratorium Riset UPP IPD Universitas Indonesia)

Tabel 4. Hasil Uji Kimia Semen

Element	Concentration	Unit	Element	Concentration	Unit
Al	3.38	%	Al2O3	5.04	%
Si	12.38	%	SiO2	20.44	%
S	1.03	%	SO3	1.87	%
Cl	0.26	%	Cl	0.19	%
K	1.22	%	K2O	1.01	%
Ca	72.25	%	CaO	63.88	%
Ti	0.90	%	TiO2	0.85	%
Mn	0.21	%	MnO	0.15	%
Fe	7.51	%	Fe2O3	6.03	%
Sr	0.54	%	SrO	0.35	%
Ag	0.34	%	Ag2O	0.21	%
Total	100.00	%	Total	100.00	%

(Sumber: Laboratorium Riset UPP IPD Universitas Indonesia)

Komposisi senyawa yang paling penting pada semen portland type I ini adalah trikalsium silikat (C_3S) 51,22%; dikalsium silikat (C_2S) 22,43%; trikalsium aluminat (C_3A) 8,36% ; tetrakalsium aluminoforit (C_4AF) 10,74% [32]. Dan berdasarkan hasil dari PT. Semen Conch Prakarsa Indonesia, kandungan kimia Semen Jakarta (C_3S) 60,17%; (C_2S) 11,43%; (C_3A) 8,68%; (C_4AF) 10,41%.

3.2. Pengujian fisis

a. Pemeriksaan *fly-ash* dan Semen OPC type I

Tabel 5. Hasil pengujian *fly ash* dan semen OPC type I

No	Jenis Pengujian	Hasil	Standar	Kesimpulan
1	Berat isi semen OPC type I	1,134 gr/cm ³	-	-
2	Berat jenis semen	2,98	3,0-3,2	-
3	Berat isi <i>fly-ash</i>	1,012 gr/cm ³	-	-
4	Berat jenis <i>fly-ash</i>	2,54	1,9-2,55	Memenuhi

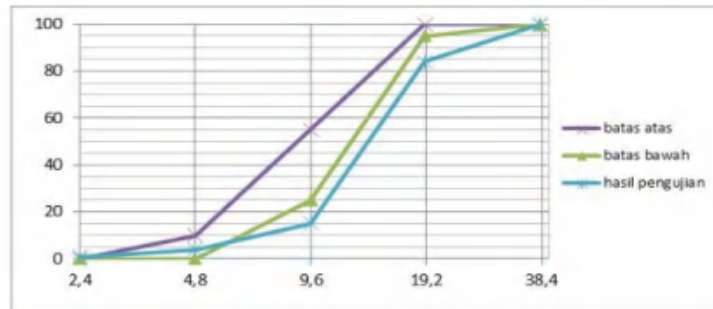
Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 2, berat jenis *fly-ash* dari berbagai sumber berbeda-beda, dan lebih kecil jika dibandingkan dengan berat jenis semen portland. Portland Cement memiliki berat jenis lebih tinggi hal ini dikarenakan unsur-unsur dasar penyusun semen memiliki massa yang lebih besar daripada *fly ash*. Selain itu, massa *fly-ash* lebih ringan dikarenakan struktur penyusun *fly-ash* yang dominan adalah debu amorf dan juga tergantung pada lokasi asal *fly-ash*,

b. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar.

Ukuran agregat kasar seragam ukuran 1-2 cm (batu pecah), pengujian ini meliputi berat jenis (*specific gravity*), penyerapan, kadar kotor, kadar air dan gradasi agregat kasar.

Tabel 6. Pemeriksaan gradasi agregat kasar.

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal		Berat kumulatif tertinggal (%)	Berat kumulatif lewat ayakan (%)
	(gr)	(%)		
38	0	0	0	100
19	159,83	15,98	15,98	84,02
9,6	689,92	68,96	84,93	15,07
4,8	111,725	11,17	96,10	3,90
2,4	29,165	2,92	99,02	0,98
1,2	5,95	0,59	99,61	0,39
0,6	3,9	0,39	100,00	0,00
0,3	0	0,00	100,00	0,00
0,15	0	0,00	100,00	0,00
sisia	0	0,00	-	-
jumlah	1000,49	100,00	695,63	-



Gambar 4. Gradasi agregat kasar.

1 Modulus halus butir agregat kasar (*fineness modulus*) adalah indeks yang digunakan untuk ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Makin besar nilai modulus kehalusan menunjukkan semakin besar ukuran butir-butir agregatnya. Pada umumnya agregat kasar memiliki modulus kehalusan berkisar 6 sampai 8 Tjokrodimaljo [32]. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai modulus halus agregat kasar sebesar 6,95 dan nilainya masih memenuhi syarat sebagai agregat kasar.

Tabel 7. Hasil pengujian agregat kasar

No	Sifat Fisik	Hasil	Standar SNI 1969:2008	Kesimpulan
1	Berat isi	1,216 gr/cm ³	-	-
2	<i>Bulk specific gravity</i> (berat jenis curah kering)	2,388	Maks. 3	Memenuhi
3	<i>Saturated surface dry</i> (jenuh kering permukaan jenuh)	2,5	Maks. 3	Memenuhi
4	<i>Apparent specific gravity</i> (berat jenis semu)	2,609	Maks. 3	Memenuhi
5	<i>Absorption</i> (penyerapan)	3,541%	Maks. 5%	Memenuhi
6	Kandungan Lumpur	0,87%	-	-
7	MHB	6,96%	5-8	Memenuhi

2 Agregat dibedakan berdasarkan berat jenisnya yang terbagi menjadi 3 yaitu agregat normal, agregat berat dan agregat ringan. Agregat normal yaitu agregat yang berat jenisnya 2,5 – 2,7, agregat berat yaitu agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 dan agregat ringan adalah agregat yang berat jenisnya kurang dari 2,0. Berat jenis merupakan rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama dan tanpa satuan Tjokrodimaljo [32]. Berdasarkan Tabel 5 nilai berat jenis agregat memenuhi standar. Berat jenis dan penyerapan memiliki pengaruh terhadap berat isi beton, semakin besar nilai penyerapan dan semakin kecil berat jenis suatu agregat akan menurunkan berat isi beton begitu juga sebaliknya. Berat jenis dan penyerapan menjelaskan tentang kepadatan suatu agregat. Semakin besar berat jenis dan semakin kecil penyerapan menunjukkan semakin padat suatu agregat [16].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Fly ash memiliki jumlah silikat dioksida (SiO_2) aluminium (Al_2O_3) dan besi (Fe_2O_3) sebesar 83,35% dan CaO 10,43%, termasuk *fly-ash* kelas F yaitu lebih besar dari 70%. Sedangkan pada semen, hasil dari PT. Semen Conch Prakarsa Indonesia, kandungan kimia Semen Jakarta (C_3S) 60,17%; (C_2S) 11,43%; (C_3A) 8,68%; (C_4AF) 10,41%, dan merupakan semen OPC type 1. Pengujian fisis *fly-ash* dan semen diperoleh berat jenis *fly-ash* 2,54 dan memenuhi syarat sebagai material *fly-ash* dan untuk berat jenis semen 2,98 lebih kecil dari syarat berat jenis semen pada umumnya. Selain itu, berat jenis *fly-ash* lebih ringan dibandingkan dengan berat jenis semen Portland dikarenakan unsur-unsur dasar penyusun semen memiliki massa yang lebih besar daripada *fly-ash* dan struktur penyusun *fly-ash* yang dominan adalah debu amorf dan juga tergantung pada lokasi asal *fly-ash*. Pengujian fisik agregat kasar ditinjau dari berat jenis, penyerapan dan modulus halus butir memenuhi syarat sebagai agregat kasar. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu menggunakan agregat seragam serta menggunakan bahan tambahan seperti *silica fume*, nikel *slaq* atau *fly-ash* agar mendapatkan kuat tekan yg optimal.

UCAPAN TERIMAKASIH

1. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Trisakti yang telah memberi dukungan baik berupa dana maupun peralatan serta fasilitas lain dalam pelaksanaan penelitian ini.
2. Terima kasih kepada Bapak Ir. Hadi Rusjanto, SP-1 selaku Dosen Penasehat yang banyak membantu dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Zhong and K. Wille, "Material design and characterization of high performance pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, pp. 51–60, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.027.
- [2] D. H. Nguyen, N. Sebaibi, M. Boutouil, L. Leleyter, and F. Baraud, "A modified method for the design of pervious concrete mix," *Constr. Build. Mater.*, vol. 73, pp. 271–282, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.088.
- [3] NRCA and National ready mixed concrete association (NRMCA), "CIP 38 - Pervious Concrete," *Concr. Pract. What, why how*, p. 3, 2004.
- [4] C. Gaedicke, A. Marines, and F. Miankodila, "A method for comparing cores and cast cylinders in virgin and recycled aggregate pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 52, pp. 494–503, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.11.043.
- [5] M. H. Wu, C. L. Lin, W. C. Huang, and J. W. Chen, "Characteristics of pervious concrete using incineration bottom ash in place of sandstone graded material," *Constr. Build. Mater.*, vol. 111, pp. 618–624, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.146.
- [6] Malhotra, V.M., "Making Concrete Greener with Fly Ash," *Concrete International.*, vol. 21, No. 5, pp. 61-66, 1999.
- [7] <https://industri.kontan.co.id/news/tahun-2020-target-produksi-batubara-550-juta-ton-dimo-sebanyak-155-juta-ton>.
- [8] American Concrete Institute (ACI) Committee 232, "Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete Reported by ACI Committee 232," ACI 211.1, 2001.
- [9] American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standart Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozolan for Use as a Mineral Admixtures in Portland Cement Concrete", ASTM C 618-93,1993.

- [10] W. J. Halstead, "Use of Fly Ash in Concrete.," *Natl. Coop. Highw. Res. Program, Synth. Highw. Pract.*, vol. 96, no. Reapproved, pp. 1–34, 1986.
- [11] Mehta P. K, "High-performance, high-volume fly Ash concrete for sustainable Development". *University of California. Berkeley USA*. 2004.
- [12] Paul Nugraha dan Antoni, "Teknologi Beton dari material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi.," Yogyakarta: Penerbit Andi. 2007.
- [13] American Concrete Institute (ACI) Committee 522, Report on pervious concrete, ACI 522R-10, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010.
- [14] American Concrete Institute (ACI) Committee 522, Report on pervious concrete, ACI 522R-06, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006.
- [15] SNI15-2049-2004, "SNI 15-2049-2004 Semen Portland," *Badan Standar Nas. Indonesia.*, pp. 1–128, 2004.
- [16] A. Maulana, E. Arifi, and C. Remayanti, "Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Porous Dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (Rca)," *Naskah Publ. Tek. Sipil*, pp. 1–23, 2017, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/112488-ID-pengaruh-komposisi-fly-ash-terhadap-kuat.pdf>.
- [17] S. Kant Sahdeo, G. D. Ransinchung, K. L. Rahul, and S. Debbarma, "Effect of mix proportion on the structural and functional properties of pervious concrete paving mixtures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 255, p. 119260, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119260.
- [18] V.R. Schaefer, K. Wang, "Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates," (No. 2006-01), Iowa. Dept. of Transportation. Highway Division, 2006.
- [19] G. Xu *et al.*, "Investigation on the properties of porous concrete as road base material," *Constr. Build. Mater.*, vol. 158, pp. 141–148, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.151.
- [20] O. Deo, N. Neithalath, "Compressive behavior of pervious concretes and a quantification of the influence of random pore structure features," *Mater. Sci. Eng. A* 528 (1) 402–412, (2010).
- [21] K. Čosić, L. Korat, V. Ducman, and I. Netinger, "Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 78, pp. 69–76, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.073.
- [22] C. Lian, Y. Zhuge, and S. Beecham, "The relationship between porosity and strength for porous concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 11, pp. 4294–4298, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.05.005.
- [23] Y. Chen, K. Wang, X. Wang, and W. Zhou, "Strength, fracture and fatigue of pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 42, pp. 97–104, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.01.006.
- [24] H. P. Astutik, S. As'ad, and A. Basuki, "Kuat Tekan, Porositas Dan Permeabilitas Pervious Concrete Dengan Campuran Agregat Limbah Gerabah," *e-Jurnal MATRIKS Tek. SIPIL*, vol. 2, no. 1, pp. 132–139, 2014.
- [25] F. Ferdian and A. Makmur, "Persentase Bahan Admixture Terkait Sidewalk."
- [26] ASTM C 494. "Standard specification for chemical admixtures for concrete." ASTM international, doi: 1520/C0494_C0494M-10, <http://www.astm.org/Standards/C494.htm>
- [27] SNI 03 2531, "Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland," p. 2531, 1991.
- [28] SNI 1973, "Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton," *Standar Nas. Indones.*, p. 16, 2008.

- [29] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 2461:2014 Spesifikasi agregat ringan untuk beton insulasi Standard Specification for Lightweight," *Badan Stand. Nas.*, pp. 1–16, 2014.
- [30] SNI 1969, "Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar," *Standar Nas. Indones.*, p. 20, 2008.
- [31] M. Setiawati, "Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton," pp. 1–8, 2018.
- [32] T. Kardiyono, "Teknologi Beton,". Buku Ajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 1995.
- [33] J. J. Ekaputri, M. B. Ulum, Triwulan, R. Bayuaji, T. E. Susanto, and M. M. Al Bakri Abdullah, "A Comprehensive Characterization and Determination of Fly Ashes in Indonesia Using Different Methods," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 754–755, pp. 320–325, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.754-755.320.
- [34] American Society for Testing and Materials (ASTM) C618, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," West Conshohocken, USA (2006).
- [35] M. B. Ulum, J. J. Ekaputri, J. Arief, and R. Hakim, "Karakteristik Fisik dan Kimia Fly Ash dari Perusahaan Ready Mix Beton dan Limbah Pabrik terhadap Sifat Mekanik Pasta dan Mortar," pp. 1–6, 2014.
- [36] E. Rommel, D. Kurniawati, and A. P. Pradibta, "Improvement of The Physical Properties and Reactivity of Fly Ash As Cementitious On Concrete," vol. 12, pp. 111–118, 2014.
- [37] P. B. Indonesia, "Agregat," *Nugroho, E K O Hindaryanto. Tek. Sipil Univ. Sebel. Maret Surakarta*, p. 54, 2010.
- [38] F. L. Y. Ash and T. Akhir, "pengaruh perbandingan curing dan," 2020.

2. Tinjauan Karakteristik Bahan Penyusun Beton Berpori dengan Penggunaan Flyash dan Superplasticizer untuk Perkerasan Jalan Ramah Lingkungan

ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

19%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

9%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	lib.unnes.ac.id Internet Source	2%
2	id.123dok.com Internet Source	2%
3	ejournal.unkhair.ac.id Internet Source	2%
4	eprints.polsri.ac.id Internet Source	1%
5	repository.ub.ac.id Internet Source	1%
6	ejournal.unsrat.ac.id Internet Source	1%
7	www.digilib.its.ac.id Internet Source	1%
8	Submitted to STT PLN Student Paper	1%

9	Internet Source	1 %
10	www.neliti.com Internet Source	1 %
11	thuisverplegingannemarie.be Internet Source	1 %
12	Submitted to Universitas Bung Hatta Student Paper	1 %
13	Submitted to Universitas Muhammadiyah Surakarta Student Paper	1 %
14	documents.mx Internet Source	1 %
15	www.slideshare.net Internet Source	1 %
16	www.ilmubeton.com Internet Source	1 %
17	atpw.files.wordpress.com Internet Source	<1 %
18	www.apbi-icma.org Internet Source	<1 %
19	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
20	sipil.studentjournal.ub.ac.id Internet Source	

<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches < 17 words

Exclude bibliography On

2. Tinjauan Karakteristik Bahan Penyusun Beton Berpori dengan Penggunaan Flyash dan Superplasticizer untuk Perkerasan Jalan Ramah Lingkungan

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

GENERAL COMMENTS

/0

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

Tinjauan Karakteristik Bahan Penyusun Beton Berpori dengan Penggunaan *Flyash* dan *Superplasticizer* untuk Perkerasan Jalan Ramah Lingkungan

Ade Okvianti Irlan¹; Grace Kurniawati²; Muhammad Sofyan³

^{1,2} Departemen Teknik Sipil, Universitas Trisakti, Jakarta

³ Intitut Teknologi PLN, Jakarta

¹ ade.okvianti@trisakti.ac.id

ABSTRACT

Since the changes of land use especially in Jakarta urban city is increased, the catchment area of rain-water is decreased, due to the impervious surface is covered by residential buildings, commercial buildings and rigid pavements, which cause the time of rain-water to gather is shorter than usual and also flood. Therefore, to increase rain-water infiltration to the ground surface, the environmental-insightful drainage technology such as porous concrete can be used. Porous concrete is a special concrete that has cavity and high porous so water can be passed. The material of porous concrete consists of cement, water, coarse aggregates, and a small portion of fine aggregates or without fine aggregates. The main purpose of this study is to investigate the chemical and physical characteristics of porous concrete material. Laboratory experimental method is used on this research. As a result, fly ash material has an amount of silicate dioxide (SiO_2) aluminum (Al_2O_3) and iron (Fe_2O_3) by 83.35% and CaO 10.43%, including class F fly-ash, greater than 70%; while chemical content of Semen Jakarta of PT. Semen Conch Prakarsa Indonesia is (C₃S) 60.17%; (C₂S) 11.43%; (C₃A) 8.68%; (C₄AF) 10.41%, and an OPC type 1 cement. The result of fly-ash and cement physical testing is specific gravity of fly-ash 2.54 and is qualified as fly-ash material and the specific gravity of cement 2.98, which is smaller than specific gravity of cement in general. Physical testing of coarse aggregate from point of view of specific gravity, absorption, and fine modulus is qualified as coarse aggregate.

Keywords: Porous concrete, flyash, cement, coarse aggregate

ABSTRAK

Perubahan tata guna lahan di perkotaan khususnya di Jakarta semakin meningkat, sehingga mengakibatkan semakin berkurangnya daerah resapan air hujan, dikarenakan luas daerah resapan yang ditutupi bangunan perumahan, perkantoran, perkerasan beton menyebabkan waktu berkumpulnya air jauh lebih pendek dan banjir. Oleh karena itu, teknologi drainase berwawasan lingkungan seperti beton berpori dapat digunakan. Beton berpori adalah beton khusus yang memiliki rongga serta porositas yang tinggi dan mudah untuk dilewati air. Material penyusun dari beton berpori terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar dan sedikit agregat halus atau tanpa agregat halus. Tujuan utamanya untuk mengetahui karakteristik kimia dan karakteristik fisis dari material penyusun beton berpori. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium. Dari hasil analisis diperoleh material flyash memiliki jumlah silikat dioksida (SiO_2) aluminium (Al_2O_3) dan besi (Fe_2O_3) sebesar 83,35% dan CaO 10,43%, termasuk fly-ash kelas F yaitu lebih besar dari 70%. Sedangkan pada semen, hasil dari PT. Semen Conch Prakarsa Indonesia, kandungan kimia Semen Jakarta (C₃S) 60,17%; (C₂S) 11,43%; (C₃A) 8,68%; (C₄AF) 10,41%, dan merupakan semen OPC type 1. Pengujian fisik fly-ash dan semen diperoleh berat jenis fly-ash 2,54 dan memenuhi syarat sebagai material fly-ash dan untuk berat jenis semen 2,98 lebih kecil dari syarat berat jenis semen pada umumnya. Pengujian fisis agregat kasar ditinjau dari berat jenis, penyerapan dan modulus halus butir memenuhi syarat sebagai agregat kasar

Kata kunci: Beton berpori, flyash, Semen, agregat kasar

1. PENDAHULUAN

Populasi penduduk tahun 2050 akan berpotensi mencapai 2,5 milyar penduduk di perkotaan [1]. Peningkatan populasi yang berkelanjutan mengakibatkan perubahan tata guna lahan sehingga bertambahnya luas daerah resapan yang ditutupi bangunan perumahan, perkantoran, perkerasan beton menyebabkan waktu berkumpulnya air jauh lebih pendek. Perubahan fungsi lahan tersebut telah memperluas lapisan kedap air atau luasan tanah tertutupi oleh bangunan sehingga resapan ke tanah hanya 20% yang terserap selebihnya 80% mengenai perumahan dan jalan raya hingga banjir. Sebagai upaya mengurangi banjir atau mengurangi limpasan/menyeras limpasan permukaan sehingga teknologi drainase berwawasan lingkungan seperti beton lulus (*pervious concrete*) dapat digunakan.

Pervious concrete/porous concrete atau beton berpori adalah beton khusus yang memiliki porositas 15% hingga 30% dari total keseluruhan volumenya yang mampu dilewati oleh air [2]. Untuk mendapatkan porositas yang tinggi maka digunakan material penyusun beton *porous* yang terdiri dari campuran semen, air, agregat kasar dan sedikit agregat halus atau sama sekali tanpa agregat halus [3]. Dan beton yang tembus air dihasilkan dari penggunaan agregat halus, gradasi yang seragam dan nilai rasio air semen yang rendah [4]. Rasio air dan semen (w/c) serta ukuran agregat memiliki pengaruh kekuatan, permeabilitas serta kemudahan lolos air [5]. Semen adalah material dasar yang sangat penting dalam pembuatan beton, namun pada produksi semen portland (OPC) membutuhkan energi yang besar dan menghasilkan limbah karbon dioksida CO₂ yang jumlahnya sangat besar, dan berdasarkan pengamatan para ahli tentang pemanasan global, produksi emisi gas CO₂ dialam adalah berasal dari produksi semen dan setiap pengurangan 1 ton produksi semen maka akan terjadi pengurangan 1 ton emisi gas CO₂ [6], sehingga hal ini mendorong para peneliti konstruksi bangunan untuk mencari material alternatif pengganti atau sebagai substitusi semen.

Material alternatif yang banyak digunakan sebagai bahan substitusi atau pengganti semen yaitu *fly-ash* dan *slaq*. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia menetapkan target produksi batubara nasional sebesar 550 juta ton pada tahun 2020 dan sekitar 155 juta ton dipergunakan untuk kebutuhan domestik [7], dan sisa limbah pembakaran batu bara tersebut banyak dimanfaatkan oleh pabrik – pabrik lokal sebagai campuran dalam pembuatan semen. *fly-ash* merupakan sisa-sisa pembakaran yang bersifat pozzolanik dan dapat digunakan sebagai bahan tambah mineral yang baik untuk beton. Pozzolan memiliki kandungan silika dan aluminium yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada temperatur biasa sehingga membentuk senyawa bersifat *cementitious* atau bersifat mengikat [8]. Abu terbang atau *fly-ash* didefinisikan sebagai butiran halus dari sisa pembakaran batubara atau bubuk batubara [8,9,10], dan *fly-ash* mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu (45 mili mikron) 5-27% yang lolos ayakan N0. 325, dengan *specific gravity* antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman [11]. *High volume fly ash (HVFA) concrete* adalah beton dimana jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan oleh *fly-ash* baik berupa kelas F maupun kelas C sekitar 50% [12]. Kandungan *fly ash* sebagian besar terdiri dari silikat dioksida (SiO₂), aluminium (Al₂O₃), besi (Fe₂O₃) dan kalsium (CaO), serta magnesium, potasium, sodium, titanium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit [13]. Kategori *fly-ash* yaitu kelas C - *fly-ash* yang mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara (batu bara muda). Kandungan kimia (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) > 50%, dan kadar CaO mencapai 10% dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 35% dari total berat binder. Kelas F - *fly-ash* yang mengandung CaO lebih kecil 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara. dan kadar (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) > 70% serta Kadar CaO < 5% Dalam campuran beton digunakan sebanyak 15% - 25%

dari total berat binder [14]. Sedangkan pada semen portland material utamanya berupa batu kapur yang mengandung komponen-komponen utama CaO (kapur) dan tanah liat yang mengandung komponen-komponen SiO₂ (silica), Al₂O₃ (alumina), Fe₂O (oksida besi), MgO (magnesium), SO₃ (sulfur) serta Na₂+K₂O (soda/potash). sedangkan bahan penyusun semen lainnya yang jumlahnya kecil dari berat semen yaitu MgO, TiO, Mn₂O₃, K₂O, dan Na₂O [15].

Penelitian [16] penggunaan *fly ash* hingga 25% dapat meningkatkan kuat tarik belah beton porous. Selain itu, Ukuran agregat yang lebih besar menghasilkan void yang lebih besar, sehingga menyebabkan permeabilitas yang besar dan juga menurunkan kekuatan. [17,18]. Gradasi agregat beton berpori mempengaruhi kekuatan dan permeabilitas, ukuran agregat kasar 9.5 – 12.5 mm menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi daripada ukuran agregat 2,36 – 9.5 mm dengan porositas yang sama karena jumlah pasta yang lebih tinggi. [19,20]. Sementara agregat halus dapat meningkatkan distribusi pasta semen dengan demikian meningkatkan kekuatan tekan dan kekuatan lentur [19,21,22]. Penggunaan *silica fume*, *superplasticizer* dan polimer dapat menghasilkan kekuatan beton berpori (32-46) MPa [19,23]. Selain itu, Penggunaan limbah lain seperti gerabah pada beton berpori menghasilkan porositas yang besar [24]. Beton berpori dengan menggunakan abu sekam secara keseluruhan kuat tekan meningkat pada umur 14 hari tetapi umur 28 hari mengalami penurunan, sedangkan beton berpori dengan menggunakan *fly ash* terus meningkat hingga umur 28 hari [25]. Untuk penggunaan bahan tambah menurut ASTM C494, [26], *superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif dengan tujuan menambah mutu beton dan atau membuat beton lebih. Secara sederhana *superplasticizer* berfungsi membuat adukan lebih encer dengan air yang lebih sedikit dan *superplasticizer* berada pada klasifikasi tipe A.

Penelitian ini menggunakan material *fly ash* dan semen type 1 (OPC), *fly ash* sebagai bahan substitusi semen dan agregat kasar yang dipakai berukuran 1-2 cm serta menggunakan bahan tambah *Crown 9 additive* dengan tujuan utamanya adalah mengetahui karakteristik awal dari pengujian fisik dan kimia material bahan penyusun beton berpori pada perkerasan jalan ramah lingkungan.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode studi literatur dan metode eksperimen di laboratorium. Metode studi literatur digunakan sebagai referensi untuk mengembangkan penelitian di lakukan serta memperkuat data dan argumentasi sehingga menghasilkan informasi yang valid. Sedangkan metode eksperimen dilakukan dengan uji fisik dan uji kimia, untuk pengujian fisik dilakukan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti, dan uji kimia di lakukan di Laboratorium Riset UPP IPD Fakultas Ilmu Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

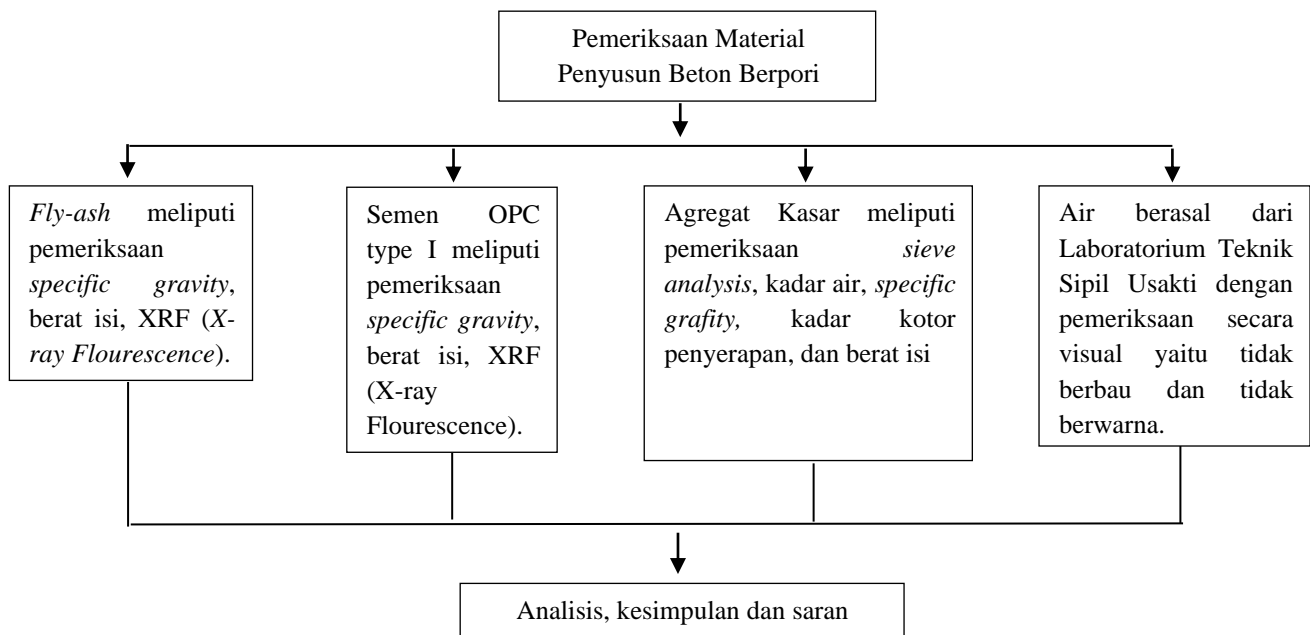
2.1. Material Penelitian

Material yang digunakan dalam pembuatan beton berpori yaitu semen, air, agrgat kasar/batu pecah, *fly ash* dan *superplasticizer*.

Tabel 1. Material dan Sumber Penelitian

No	Jenis material	Sumber
1	Semen OPC tipe 1	Portland Semen Jakarta
2	Air	Laboratorium Beton Universitas Trisakti
3	Agregat Kasar	Jakarta Barat, Maksimum 10 mm
4	<i>Superplasticizer</i>	PT. Crown Cahaya Indonesia
5	<i>Fly Ash</i>	PT.Tjiwi Kimia

2.2. Tahapan Penelitian

**Gambar 1.** Alur Penelitian Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton Berpori

2.3. Pengujian Fisik Material Penyusun Beton Berpori

Pemeriksaan material dilakukan dengan pemeriksaan fisik dengan mengacu standar nasional Indonesia yaitu: SNI 15-2531-1991, SNI 03-1973-2008, SNI 03 – 2461 -2002, SNI 1969:2008, ASTM C618

1. Pemeriksaan dan Pengujian Semen *Ordinary Portland Cement* (OPC) type I dan *fly ash* mengacu pada peraturan SNI 15-2531-1991 [27] dan SNI 03-1973-2008 [28]

Pemeriksaan semen dilakukan dengan melihat tanggal produksi dan melihat semen tidak terjadi pengumpalan/tidak keras. selain itu, Jika semen yang masih baik ditabur di atas air, maka akan mengambang/mengapung sejenak sebelum mengendap, dan jika tangan dimasukkan ke dalam bubuk semen yang masih baik, akan terasa dingin dan juga Pemeriksaan tanggal produksi untuk mengetahui lama penyimpanan semen.

Dan berdasarkan SNI 15-2531-1991 [27] Pengujian berat jenis semen dengan rumus:

$$\text{Berat isi} = \frac{\text{Berat material}}{\text{Volume wadah ukur}} \quad (1)$$

$$d = \frac{\text{massa semen (gram)}}{\text{kepekatan air } 4^{\circ}\text{C}}, \quad (2)$$

$$\text{Berat jenis} = \frac{\text{Kepekatan (density)semen}}{\text{kepekatan air } 4^{\circ}\text{C}}, \quad (3)$$

Notasi: Kepekatan (density) air pada temperature 4°C adalah $1 \text{ gr/cm}^3 = 3,16 \text{ gr/ml}$

2. Pengujian Agregat kasar

Menurut SNI 03 – 2461 -2014 [29]Agregat kasar adalah agregat yang memiliki ukuran lebih dari 4,75 mm atau ukuran maksimumnya 40 mm. Agregat ini harus memenuhi syarat kekuatan, bentuk, tekstur maupun ukuran. Agregat kasar yang baik bentuknya bersudut dan pipih (tidak bulat/blondos) serta tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% apabila kandungan lumpur lebih dari 1% maka agregat harus dicuci dan juga serta tidak mengandung zat-zat yang merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif dengan alkali. Pengujian agregat kasar meliputi, pemeriksaan *sieve analysis*, kadar air, pengujian kekerasan, *specific gravity*, penyerapan, kadar kotor agregat, dan berat isi.

a. Berdasarkan SNI 15-2531-1991 [27] kadar kotoran agregat kasar

$$\text{Kadar kotoran} = \frac{\text{Berat split kotor} - \text{Berat split kering}}{\text{Berat split kotor}} \times 100\% \quad (4)$$

b. Mengacu pada SNI 1969:2008 [30], Berat isi, berat jenis dan penyerapan.

Berat isi agregat kasar dalam kondisi gembur dan padat, sedangkan penentuan *bulk specific gravity*, *apparent specific gravity* dan absorption dari koral/split. *Bulk specific gravity* pada umumnya digunakan untuk perhitungan volume bahan dicampur dalam beton.

$$\text{Bulk specific gravity (berat jenis curah kering)} = \frac{A}{B-C} \quad (5)$$

$$\text{Saturated surface dry (jenuh kering permukaan jenuh)} = \frac{B}{B-C} \quad (6)$$

$$\text{Apparent specific gravity (berat jenis semu)} = \frac{A}{A-C} \quad (7)$$

$$\text{Absorption (penyerapan)} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (8)$$

Dimana:

A = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram)

C = berat benda uji dalam air (gram)

c. Sieve Analysis Agregat Kasar (analisa ayakan)

Pengujian *Sieve Analysis* bertujuan untuk mengetahui ukuran butir daripada agregat kasar [31]. Pada agregat kasar dikeringkan terlebih dahulu agar tidak ada material atau bahan lain yang menempel. Kemudian tiap agregat diayak menggunakan ayakan dengan diameter ayakan disusun dari paling bawah dengan saringan diameter paling kecil hingga paling atas dengan diameter ayakan paling besar.

3. Air

Menurut Kardiyono Tjokrodimulyo [32], untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan hanya sekitar 25% dari berat semen, namun dalam kenyataannya nilai f.a.s yang kurang dari 0,35 sulit dikerjakan karena beton yang mempunyai proporsi air yang sangat kecil menjadi kering

dan sukar dipadatkan. Untuk memenuhi syarat campuran beton, air yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang tidak berbau, tidak mengandung minyak, garam serta tidak mengandung zat-zat yang merusak beton yang berada di Laboratorium Beton Teknik Sipil Usakti, air

4. Pengujian Kimia

Uji Kimia yang telah dilakukan terhadap *fly-ash* dan semen sedangkan SP 9 *crown additive* tidak dilakukan pengujian kimia. Tes XRF (*X-Ray Fluorescence*), dengan tujuan untuk mengetahui prosentase oksida meliputi Silicon dioxide, Aluminum oxide, Iron oxide, Calcium oxide, Magnesium oxide, Sulfur trioxide, Sodium oxide, dan Potassium oxide dari *fly ash* tersebut seperti yang telah ditetapkan dalam ASTM C618 [33]. Uji ini dilakukan Laboratorium Riset UPP IPD Fakultas Ilmu Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Kimia *fly-ash* dan Semen OPC type I

Hasil analisis komposisi kimia dari limbah Tjiwi Kimia dalam bentuk senyawa oksida yang meliputi beberapa parameter diantaranya kadar SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , TiO_2 , dan MnO , yang dinyatakan dalam % sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil uji kimia *fly-ash*

Element	Concentration	Unit	Element	Concentration	Unit
Al	10.45	%	Al_2O_3	13.87	%
Si	25.87	%	SiO_2	37.46	%
P	0.50	%	P_2O_5	0.73	%
Cl	0.46	%	Cl	0.29	%
K	3.35	%	K_2O	2.48	%
Ca	12.50	%	CaO	10.43	%
Ti	1.66	%	TiO_2	1.58	%
Mn	0.53	%	MnO	0.36	%
Fe	43.30	%	Fe_2O_3	32.02	%
Sr	0.30	%	SrO	0.17	%
Ag	0.63	%	Ag_2O	0.33	%
Ba	0.47	%	BaO	0.26	%
Total	100.00	%	Total	100.00	%

Sumber: Laboratorium Riset UPP IPD Universitas Indonesia)

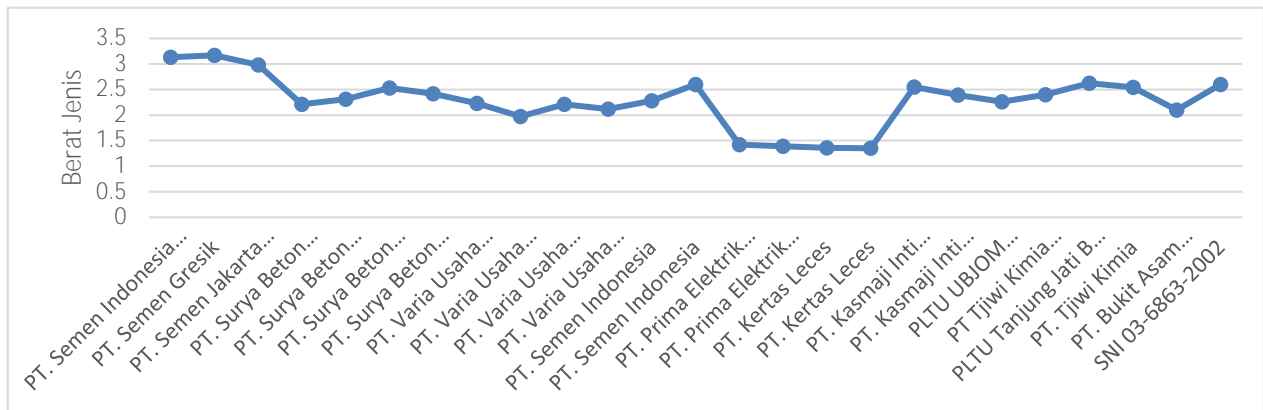
Tabel 3. Kandungan Kimia *Flyash* dari berbagai sumber penellti.

Sumber	Sumber <i>fly ash</i>	Berat Jenis	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO
			%	%	%	%
Muhammad Bahrul Ulum dkk	PT. Semen Indonesia (OPC)	3,13	19,429	5,7009	3,51	63,14
Erwin Rommel dkk	PT. Semen Gresik	3,17	11,79	-	1,69	-
Peneliti	PT. Semen Jakarta OPC (Peneliti)	2,98	5.04	6.03	63.88	2,98

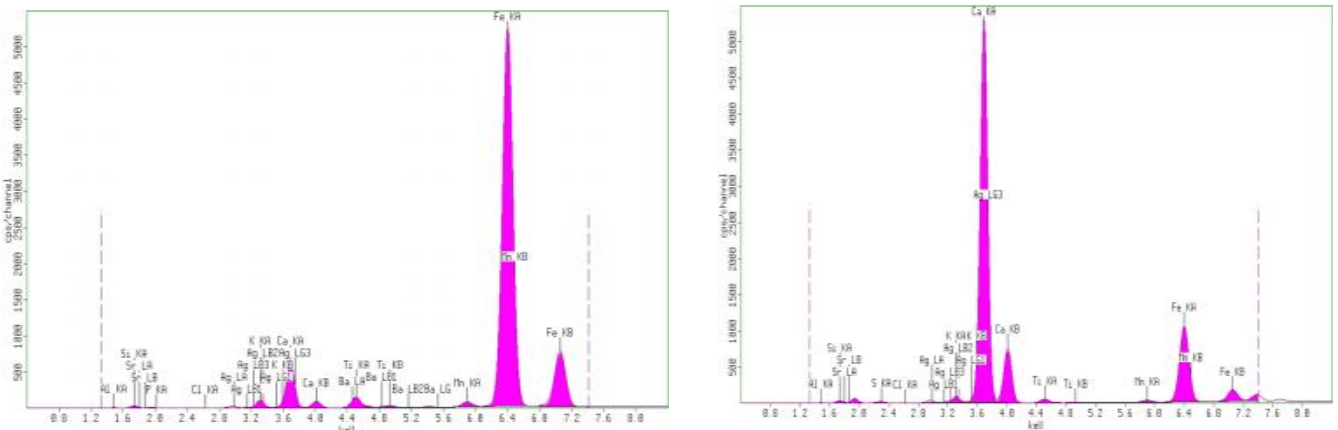
Lanjutan Tabel 3.

Sumber	Sumber <i>fly ash</i>	Berat Jenis	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
			%	%	%	%
Muhammad Bahrul Ulum, Januarti Jaya Ekaputri, Triwulan	PT. Surya Beton Indonesia	2,21	37,448	24,49	11,79	15,73
	PT. Surya Beton Indonesia	2,31	38,755	29,426	18,43	4,05
	PT. Surya Beton Indonesia	2,53	39,161	31,026	11,6	10,26
	PT. Surya Beton Indonesia	2,42	39,113	30,923	11,93	10,04
	PT. Varia Usaha Beton (Jepara)	2,23	40,425	34,27	10,67	2,24
	PT. Varia Usaha Beton (Jepara)	1,97	40,443	34,12	9,13	3,28
	PT. Varia Usaha Beton (Paiton)	2,21	37,287	32,225	10	4,42
	PT. Varia Usaha Beton (Paiton)	2,12	35,641	31,503	9,9	4,74
	PT. Semen Indonesia	2,28	41,17	34,478	11,54	1,89
	PT. Semen Indonesia	2,6	34,645	22,548	12,52	15,24
	PT. Prima Elektrik Power	1,42	33,107	27,391	17,88	8,94
	PT. Prima Elektrik Power	1,39	33,746	24,355	15,64	11,59
	PT. Kertas Leces	1,36	36,673	21,602	20,44	7,04
	PT. Kertas Leces	1,35	36,074	21,102	21,05	7,13
	PT. Kasmaji Inti Utama	2,55	42,607	24,079	4,22	16,35
	PT. Kasmaji Inti Utama	2,39	39,963	44,559	2,34	1,67
Gumilang, 2020	PLTU Pelabuhan Ratu	2,26	40,89	19,3	17	18,57
	PLTU UBJOM INDRAMAYU	2,26	43,74	16,88	21,74	11,10
Taki, 2009	PT Tjiwi Kimia Mojokerto	2,4	73,21	2,15	5,2	6,72
	PLTU Paiton Probolinggo	-	46	6,35	10,11	6,79
Eko Hindaryanto, 2010	PLTU Tanjung Jati B Jepara.	2,625	45,27	20,07	10,59	13,32
Peneliti	PT. Tjiwi Kimia	2,54	37,46	13,87	32,02	10,43
Nurzal, 2013	PT. Bukit Asam Sawahlunto (PLTU Sijantang Sawahlunto)	2,1	62,8	20,7	4,87	1,3
Andre Kusuma Putra, 2014	PLTU Amurang		36,23	6,25	4,34	2,85
SNI 03-6863-2002	Tipe C	2,6	50,9	15,7	5,8	9,3
	Tipe F		51,9	25,8	6,98	8,7
	Tipe N		58,2	18,4	9,3	3,3
ACI Manual of Practice 1993 Parts 1 226.3R-3	Tipe C	2,8	>50%			Mencapai 10%
	Tipe F		>70%			<5%

Fly-ash dan Semen portland mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi. Ke empat unsur ini merupakan unsur-unsur pokok dari dua material tersebut, dan unsur-unsur tersebut mempengaruhi fungsi dari material. Berdasarkan data hasil pemeriksaan pada Tabel 2, terlihat jumlah silikat dioksida (SiO₂) aluminium (Al₂O₃) dan besi (Fe₂O₃) sebesar 83,35 %. Persyaratan *fly ash* tipe F kandungan SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃>70% dan untuk *fly-ash* type C kandungan SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ > 50%. Terlihat pada Tabel 3 dari berbagai sumber peneliti terdahulu nilai CaO yang didapat bervariasi sehingga dapat diklasifikasikan sesuai dengan standar yang ada. *Fly-ash* type C umumnya mengandung CaO lebih dari 15% dan type F yang terdiri CaO kurang dari 5%, dapat dikatakan bahwa CaO adalah indikator yang terbaik dalam mengidentifikasi perilaku abu terbang di beton dan *fly-ash* dengan tingkat kalsium oksida yang tinggi meningkatkan kuat tekan yang tinggi [33,34].



Gambar 2. Berat jenis fly ash dari berbagai sumber.



(a) Fly ash

(b) Semen

Gambar 3. Analisa XRF terhadap fly-ash dan Semen
(Sumber: Laboratorium Riset UPP IPD Universitas Indonesia)

Tabel 4. Hasil Uji Kimia Semen

Element	Concentration	Unit	Element	Concentration	Unit
Al	3.38	%	Al ₂ O ₃	5.04	%
Si	12.38	%	SiO ₂	20.44	%
S	1.03	%	SO ₃	1.87	%
Cl	0.26	%	Cl	0.19	%
K	1.22	%	K ₂ O	1.01	%
Ca	72.25	%	CaO	63.88	%
Ti	0.90	%	TiO ₂	0.85	%
Mn	0.21	%	MnO	0.15	%
Fe	7.51	%	Fe ₂ O ₃	6.03	%
Sr	0.54	%	SrO	0.35	%
Ag	0.34	%	Ag ₂ O	0.21	%
Total	100.00	%	Total	100.00	%

(Sumber: Laboratorium Riset UPP IPD Universitas Indonesia)

Komposisi senyawa yang paling penting pada semen portland type I ini adalah trikalsium silikat (C_3S) 51,22%; dikalsium silikat (C_2S) 22,43%; trikalsium aluminat (C_3A) 8,36% ; tetrakalsium aluminoforit (C_4AF) 10,74% [32]. Dan berdasarkan hasil dari PT. Semen Conch Prakarsa Indonesia, kandungan kimia Semen Jakarta (C_3S) 60,17%; (C_2S) 11,43%; (C_3A) 8,68%; (C_4AF) 10,41%.

3.2. Pengujian fisis

a. Pemeriksaan *fly-ash* dan Semen OPC type I

Tabel 5. Hasil pengujian *fly ash* dan semen OPC type 1

No	Jenis Pengujian	Hasil	Standar	Kesimpulan
1	Berat isi semen OPC type 1	1,134 gr/cm ³	-	-
2	Berat jenis semen	2,98	3,0-3,2	-
3	Berat isi <i>fly-ash</i>	1,012 gr/cm ³	-	-
4	Berat jenis <i>fly-ash</i>	2,54	1,9-2,55	Memenuhi

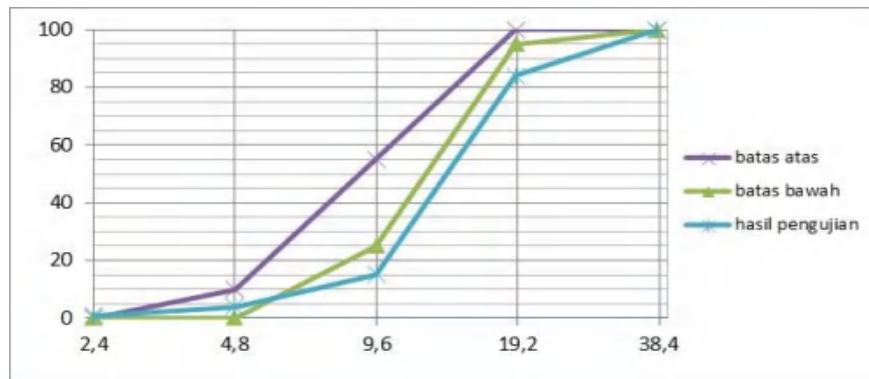
Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 2, berat jenis *fly-ash* dari berbagai sumber berbeda-beda, dan lebih kecil jika dibandingkan dengan berat jenis semen portland. Portland Cement memiliki berat jenis lebih tinggi hal ini dikarenakan unsur-unsur dasar penyusun semen memiliki massa yang lebih besar daripada *fly ash*. Selain itu, massa *fly-ash* lebih ringan dikarenakan struktur penyusun *fly-ash* yang dominan adalah debu amorf dan juga tergantung pada lokasi asal *fly-ash*,

b. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar.

Ukuran agregat kasar seragam ukuran 1-2 cm (batu pecah), pengujian ini meliputi berat jenis (*specific gravity*), penyerapan, kadar kotor, kadar air dan gradasi agregat kasar.

Tabel 6. Pemeriksaan gradasi agregat kasar.

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal		Berat kumulatif tertinggal (%)	Berat kumulatif lewat ayakan (%)
	(gr)	(%)		
38	0	0	0	100
19	159,83	15,98	15,98	84,02
9,6	689,92	68,96	84,93	15,07
4,8	111,725	11,17	96,10	3,90
2,4	29,165	2,92	99,02	0,98
1,2	5,95	0,59	99,61	0,39
0,6	3,9	0,39	100,00	0,00
0,3	0	0,00	100,00	0,00
0,15	0	0,00	100,00	0,00
sisia	0	0,00	-	-
jumlah	1000,49	100,00	695,63	-



Gambar 4. Gradasi agregat kasar.

Modulus halus butir agregat kasar (*fineness modulus*) adalah indeks yang digunakan untuk ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Makin besar nilai modulus kehalusan menunjukkan semakin besar ukuran butir-butir agregatnya. Pada umumnya agregat kasar memiliki modulus kehalusan berkisar 6 sampai 8 Tjokrodimaljo [32]. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai modulus halus agregat kasar sebesar 6,95 dan nilainya masih memenuhi syarat sebagai agregat kasar.

Tabel 7. Hasil pengujian agregat kasar

No	Sifat Fisik	Hasil	Standar SNI 1969:2008	Kesimpulan
1	Berat isi	1,216 gr/cm ³	-	-
2	<i>Bulk specific gravity</i> (berat jenis curah kering)	2,388	Maks. 3	Memenuhi
3	<i>Saturated surface dry</i> (jenuh kering permukaan jenuh)	2,5	Maks. 3	Memenuhi
4	<i>Apparent specific gravity</i> (berat jenis semu)	2,609	Maks. 3	Memenuhi
5	<i>Absorption</i> (penyerapan)	3,541%	Maks. 5%	Memenuhi
6	Kandungan Lumpur	0,87%	-	-
7	MHB	6,96%	5-8	Memenuhi

Agregat dibedakan berdasarkan berat jenisnya yang terbagi menjadi 3 yaitu agregat normal, agregat berat dan agregat ringan. Agregat normal yaitu agregat yang berat jenisnya 2,5 – 2,7, agregat berat yaitu agregat yang berat jenisnya lebih dari 2,8 dan agregat ringan adalah agregat yang berat jenisnya kurang dari 2,0. Berat jenis merupakan rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama dan tanpa satuan Tjokrodimaljo [32]. Berdasarkan Tabel 5 nilai berat jenis agregat memenuhi standar. Berat jenis dan penyerapan memiliki pengaruh terhadap berat isi beton, semakin besar nilai penyerapan dan semakin kecil berat jenis suatu agregat akan menurunkan berat isi beton begitu juga sebaliknya. Berat jenis dan penyerapan menjelaskan tentang kepadatan suatu agregat. Semakin besar berat jenis dan semakin kecil penyerapan menunjukkan semakin padat suatu agregat [16].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Fly ash memiliki jumlah silikat dioksida (SiO_2) aluminium (Al_2O_3) dan besi (Fe_2O_3) sebesar 83,35% dan CaO 10,43%, termasuk *fly-ash* kelas F yaitu lebih besar dari 70%. Sedangkan pada semen, hasil dari PT. Semen Conch Prakarsa Indonesia, kandungan kimia Semen Jakarta (C_3S) 60,17%; (C_2S) 11,43%; (C_3A) 8,68%; (C_4AF) 10,41%, dan merupakan semen OPC type 1. Pengujian fisis *fly-ash* dan semen diperoleh berat jenis *fly-ash* 2,54 dan memenuhi syarat sebagai material *fly-ash* dan untuk berat jenis semen 2,98 lebih kecil dari syarat berat jenis semen pada umumnya. Selain itu, berat jenis *fly-ash* lebih ringan dibandingkan dengan berat jenis semen Portland dikarenakan unsur-unsur dasar penyusun semen memiliki massa yang lebih besar daripada *fly-ash* dan struktur penyusun *fly-ash* yang dominan adalah debu amorf dan juga tergantung pada lokasi asal *fly-ash*. Pengujian fisik agregat kasar ditinjau dari berat jenis, penyerapan dan modulus halus butir memenuhi syarat sebagai agregat kasar. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu menggunakan agregat seragam serta menggunakan bahan tambahan seperti *silica fume*, *nikel slaq* atau *fly-ash* agar mendapatkan kuat tekan yg optimal.

UCAPAN TERIMAKASIH

1. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Trisakti yang telah memberi dukungan baik berupa dana maupun peralatan serta fasilitas lain dalam pelaksanaan penelitian ini.
2. Terima kasih kepada Bapak Ir. Hadi Rusjanto, SP-1 selaku Dosen Penasehat yang banyak membantu dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Zhong and K. Wille, "Material design and characterization of high performance pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, pp. 51–60, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.027.
- [2] D. H. Nguyen, N. Sebaibi, M. Boutouil, L. Leleyter, and F. Baraud, "A modified method for the design of pervious concrete mix," *Constr. Build. Mater.*, vol. 73, pp. 271–282, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.088.
- [3] NRCA and National ready mixed concrete association (NRMCA), "CIP 38 - Pervious Concrete," *Concr. Pract. What, why how*, p. 3, 2004.
- [4] C. Gaedicke, A. Marines, and F. Miankodila, "A method for comparing cores and cast cylinders in virgin and recycled aggregate pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 52, pp. 494–503, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.11.043.
- [5] M. H. Wu, C. L. Lin, W. C. Huang, and J. W. Chen, "Characteristics of pervious concrete using incineration bottom ash in place of sandstone graded material," *Constr. Build. Mater.*, vol. 111, pp. 618–624, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.146.
- [6] Malhotra, V.M., "Making Concrete Greener with Fly Ash," *Concrete International.*, vol. 21, No. 5, pp. 61-66, 1999.
- [7] <https://industri.kontan.co.id/news/tahun-2020-target-produksi-batubara-550-juta-ton-dmo-sebanyak-155-juta-ton>.
- [8] American Concrete Institute (ACI) Committee 232, "Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete Reported by ACI Committee 232," ACI 211.1, 2001.
- [9] American Society for Testing and Materials (ASTM)," *Standart Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozolan for Use as a Mineral Admixtures in Portland Cement Concrete*", ASTM C 618-93,1993.

- [10] W. J. Halstead, "Use of Fly Ash in Concrete.," *Natl. Coop. Highw. Res. Program, Synth. Highw. Pract.*, vol. 96, no. Reapproved, pp. 1–34, 1986.
- [11] Mehta P. K, "High-performance, high-volume fly Ash concrete for sustainable Development". *University of California. Berkeley USA*. 2004.
- [12] Paul Nugraha dan Antoni, "Teknologi Beton dari material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi.," Yogyakarta: Penerbit Andi. 2007.
- [13] American Concrete Institute (ACI) Committee 522, Report on pervious concrete, ACI 522R-10, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010.
- [14] American Concrete Institute (ACI) Committee 522, Report on pervious concrete, ACI 522R-06, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006.
- [15] SNI15-2049-2004, "SNI 15-2049-2004 Semen Portland," *Badan Standar Nas. Indonesia.*, pp. 1–128, 2004.
- [16] A. Maulana, E. Arifi, and C. Remayanti, "Pengaruh Komposisi Fly Ash Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Porous Dengan Variasi Komposisi Agregat Kasar Daur Ulang (Rca)," *Naskah Publ. Tek. Sipil*, pp. 1–23, 2017, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/112488-ID-pengaruh-komposisi-fly-ash-terhadap-kuat.pdf>.
- [17] S. Kant Sahdeo, G. D. Ransinchung, K. L. Rahul, and S. Debbarma, "Effect of mix proportion on the structural and functional properties of pervious concrete paving mixtures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 255, p. 119260, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119260.
- [18] V.R. Schaefer, K. Wang, "Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates," (No. 2006-01), Iowa. Dept. of Transportation. Highway Division, 2006.
- [19] G. Xu *et al.*, "Investigation on the properties of porous concrete as road base material," *Constr. Build. Mater.*, vol. 158, pp. 141–148, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.151.
- [20] O. Deo, N. Neithalath, "Compressive behavior of pervious concretes and a quantification of the influence of random pore structure features," *Mater. Sci. Eng. A* 528 (1) 402–412, (2010).
- [21] K. Ćosić, L. Korat, V. Ducman, and I. Netinger, "Influence of aggregate type and size on properties of pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 78, pp. 69–76, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.073.
- [22] C. Lian, Y. Zhuge, and S. Beecham, "The relationship between porosity and strength for porous concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 11, pp. 4294–4298, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.05.005.
- [23] Y. Chen, K. Wang, X. Wang, and W. Zhou, "Strength, fracture and fatigue of pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 42, pp. 97–104, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.01.006.
- [24] H. P. Astutik, S. As'ad, and A. Basuki, "Kuat Tekan, Porositas Dan Permeabilitas Pervious Concrete Dengan Campuran Agregat Limbah Gerabah," *e-Jurnal MATRIKS Tek. SIPIL*, vol. 2, no. 1, pp. 132–139, 2014.
- [25] F. Ferdian and A. Makmur, "Persentase Bahan Admixture Terkait Sidewalk."
- [26] ASTM C 494. "Standard specification for chemical admixtures for concrete." ASTM international, doi: 1520/C0494_C0494M-10, <http://www.astm.org/Standards/C494.htm>
- [27] SNI 03 2531, "Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland," p. 2531, 1991.
- [28] SNI 1973, "Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton," *Standar Nas. Indones.*, p. 16, 2008.

- [29] Badan Standarisasi Nasional, “SNI 2461:2014 Spesifikasi agregat ringan untuk beton insulasi Standard Specification for Lightweight,” *Badan Stand. Nas.*, pp. 1–16, 2014.
- [30] SNI 1969, “Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar,” *Standar Nas. Indones.*, p. 20, 2008.
- [31] M. Setiawati, “Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton,” pp. 1–8, 2018.
- [32] T. Kardiyono, “Teknologi Beton,”. Buku Ajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 1995.
- [33] J. J. Ekaputri, M. B. Ulum, Triwulan, R. Bayuaji, T. E. Susanto, and M. M. Al Bakri Abdullah, “A Comprehensive Characterization and Determination of Fly Ashes in Indonesia Using Different Methods,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 754–755, pp. 320–325, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.754-755.320.
- [34] American Society for Testing and Materials (ASTM) C618, “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete,” West Conshohocken, USA (2006).
- [35] M. B. Ulum, J. J. Ekaputri, J. Arief, and R. Hakim, “Karakteristik Fisik dan Kimia Fly Ash dari Perusahaan Ready Mix Beton dan Limbah Pabrik terhadap Sifat Mekanik Pasta dan Mortar,” pp. 1–6, 2014.
- [36] E. Rommel, D. Kurniawati, and A. P. Pradibta, “Improvement of The Physical Properties and Reactivity of Fly Ash As Cementitious On Concrete,” vol. 12, pp. 111–118, 2014.
- [37] P. B. Indonesia, “Agregat,” *Nugroho, E K O Hindaryanto. Tek. Sipil Univ. Sebel. Maret Surakarta*, p. 54, 2010.
- [38] F. L. Y. Ash and T. Akhir, “pengaruh perbandingan curing dan,” 2020.