

Analisa Pengaruh Limbah Fly Ash Dan Battom Ash (Faba) Sebagai Pengganti Semen Dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton

Ulva Netalia¹

¹Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang

ulva1604netalia@gmail.com¹

Abstract

Limited natural resources for the supply of concrete constituent materials because they come from nature which cannot be renewed. So the need for innovation and utilization of waste for construction purposes. In Fly Ash and Battom Ash (FABA) waste there are several constituent elements and gradation forms that are the same as cement and fine aggregate. So the purpose of this research is to investigate its use as a substitute for cement and fine aggregate. At percentages of 0%, 15%, 20% and 25% the compressive strength values at 28 days of treatment reached 28.4 MPa, 26.7 MPa, 25.4 MPa and 23.9 MPa. The optimum compressive strength lies in the percentage of 15%, which is 26.7 MPa, so it is included in the medium quality concrete classification. It was concluded that the experimental concrete mix formula can be used in several structures that can use moderate concrete strength. Among them are reinforced concrete such as bridge floor plates, reinforced concrete girders, diaphragms, precast concrete, reinforced concrete culverts, bridge underbuildings.

Keywords: concrete, compressive strength, fly ash and battom ash, materials.

Abstrak

Keterbatasan sumber daya alam untuk persediaan material penyusun beton karena bersumber dari alam yang tidak dapat di perbarui. Maka perlunya inovasi dan pemanfaatan limbah untuk keperluan konstruksi. Pada limbah Fly Ash dan Battom Ash (FABA) ada beberapa unsur penyusun dan bentuk gradasi yang sama dengan semen dan agregat halus. Maka tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menyelidiki penggunaannya untuk bahan pengganti semen dan dan agregat halus. Pada persentase 0%, 15%, 20% dan 25% dengan hasil nilai kuat tekan pada perawatan 28 hari mencapai 28,4 Mpa, 26,7 Mpa, 25,4 Mpa, dan 23,9 Mpa. Kuat tekan optimum terletak pada persentase 15% yaitu 26,7 MPa maka termasuk pada klasifikasi beton mutu sedang. Disimpulkan bahwa formula campuran beton eksperimental tersebut dapat digunakan di beberapa struktur yang dapat menggunakan mutu beton sedang. Diantaranya yaitu beton bertulang seperti plat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.

Kata kunci: beton, kuat tekan, *fly ash* dan *battom ash* (faba), eksperimen, material.

CEC is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.



1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang cukup besar. Sumber daya alam Indonesia sangat beragam, khususnya di sektor pertambangan dan energi. Kekayaan ini meliputi sumber daya minyak bumi, batubara, mineral, dan lain-lain. Salah satu sumber daya unggulan yang terdapat di Indonesia adalah batubara. Di Indonesia, batubara merupakan salah satu sumber daya yang digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Dalam ilmu teknik sipil inovasi sangat dibutuhkan terutama untuk mengatasi permasalahan yang ada, salah satunya masalah dampak lingkungan yang diakibatkan dari penggunaan bahan dari alam yang tidak dapat diperbarui. Salah satu penanganan lingkungan yang dapat diterapkan adalah memanfaatkan limbah tersebut untuk keperluan di bidang konstruksi. Abu batubara merupakan bagian dari sisa pembakaran batubara yang berbentuk partikel halus *amorf*. Abu tersebut merupakan bahan anorganik

yang terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran. Proses pembakaran batubara pada unit pembangkit uap (*boiler*) akan membentuk dua jenis abu, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Abu batubara dapat digunakan pada beton sebagai material terpisah atau sebagai bahan dalam campuran semen dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat beton. Fungsi abu batubara sebagai bahan aditif dalam beton bisa sebagai pengisi (*filler*) yang akan menambah internal kohesi dan mengurangi porositas daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton, sehingga beton menjadi lebih kuat [1]. *Fly ash* dan *bottom ash* telah menjadi salah satu masalah di perusahaan energi, karena produksinya melimpah sedangkan pemanfaatannya dan pengolahannya belum maksimal. Permintaan batubara yang terus meningkat setiap tahunnya mengakibatkan produksi limbah abu menjadi tidak terkendali. Dalam beberapa tahun terakhir ini *Fly Ash* dan *Battom Ash* (FABA) menjadi perhatian untuk dikembangkan terutama pada kebutuhan konstruksi. Penggunaan

FABA sebagai pengganti semen dan agregat halus tidak hanya dapat mengurangi masalah lingkungan, tetapi juga memberikan nilai ekonomis bagi industri konstruksi dan melindungi sumber daya alam. Berdasarkan unsur penyusun yang terdapat pada *Fly Ash* dan *Battom Ash* (FABA) ada beberapa unsur penyusun yang sama dengan semen seperti unsur silika, aluminium dan besi. Berdasarkan hal tersebut maka penulis ingin menggunakan *Fly Ash* dan *Battom Ash* (FABA) sebagai salah satu bahan pengganti semen dan agregat halus yang bertujuan untuk mendapatkan mutu beton yang lebih baik, maka dari itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Analisa Pengaruh Limbah *Fly Ash* dan *Battom Ash* (FABA) Sebagai Pengganti Semen dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton”. Yang diharapkan menjadi salah satu inovasi untuk mengatasi permasalahan limbah *Fly Ash* dan *Battom Ash* (FABA) secara efektif dan juga untuk mengatasi permasalahan yang terhadap mutu beton.

Nilai kuat tekan beton normal sebesar 10,37 MPa, dan nilai kuat tekan beton berturut-turut pada campuran 1 yaitu fly ash 15% dan limbah kaca 5%, campuran 2 yaitu fly ash 15% dan limbah kaca 15%, campuran 3 yaitu fly ash 25% dan limbah kaca 5%, campuran 4 yaitu fly ash 25% dan limbah kaca 15% adalah sebesar 10,57 MPa, 11,61 MPa, 10,28 MPa, dan 9,53 MPa. Nilai kuat tekan maksimum terjadi pada susbtitusi fly ash 15% dan limbah kaca 15% yaitu sebesar 11,61 MPa dengan kenaikan kuat tekan sebesar 11,95% terhadap beton normal [2]. Adanya variasi serbuk keramik sebagai pengganti agregat halus dan 15% fly ash sebagai pengganti semen, berpengaruh signifikan sebesar 74,1% terhadap kuat tarik belah beton. Adanya variasi serbuk keramik sebagai pengganti agregat halus dan 15% fly ash sebagai pengganti semen, berpengaruh signifikan sebesar 51,5% terhadap porositas beton. Kuat t tarik t belah maksimal sebesar 2,75 Mpa pada variasi serbuk keramik optimum sebesar 6,214%. Porositas t minimum sebesar 12,33% pada variasi serbuk keramik optimum sebesar 15% [3]. Adanya pengaruh fly ash sebagai pengganti sebagian semen terhadap semen mengakibatkan kenaikan berat isi SKPM dengan nilai maksimal sebesar 2013,261 kg/m³ pada variasi fly ash 30%. (2) Adanya pengaruh fly ash sebagai pengganti sebagian semen mengakibatkan terjadi kenaikan kuat tekan SKPM dengan nilai maksimal sebesar 73,561 kgf/cm² pada variasi fly ash 20%. (3) Berat isi SKPM memenuhi standar SNI 1973:2008 dan kuat tekan SKPM memenuhi standar 03-0349-1989 mutu I dengan nilai maksimal variasi 20% fly ash . Adanya pengaruh fly ash sebagai pengganti sebagian semen memiliki ciri-ciri kriteria beton ramah lingkungan sesuai dengan kategori penilaian Material Resource and Cycle pada perangkat penilaian Greenship Rating Tools versi 1.0 dengan recycle limbah dan membuat material SKPM prapabrikasi [4]. variabel terikat: kuat tekan, berat jenis, dan daya serap air bata beton ringan foam,

variabel bebas: pengganti sebagian agregat halus dengan fly ash dengan variasi 0%, 15%, 30%, 45%, dan 60% dan variasi foam 50% dan 70% dari volume beton. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa, variasi fly ash dan variasi foam 50% berpengaruh 77,6%, pada variasi foam 70% berpengaruh 77,1% terhadap kuat tekan bata beton ringan foam, variasi fly ash dan variasi foam 50% berpengaruh 92%, pada variasi foam 70% berpengaruh 88,3% terhadap berat jenis bata beton ringan foam, variasi fly ash dan variasi foam 50% berpengaruh 92,4%, pada variasi foam 70% berpengaruh 43,3% terhadap daya serap air bata beton ringan foam, tidak didapatkan persentase fly ash dan variasi foam untuk mencapai kuat tekan yang memenuhi SNI 03-0349-1989 pada foam 50% terdapat kuat tekan optimal 1,825 MPa dengan fly ash 35,52% dan foam 70% terdapat kuat tekan optimal 0,541 MPa dengan fly ash 27,54%, Semua persentase fly ash dan variasi foam menghasilkan nilai berat jenis beton ringan yang memenuhi SNI 03-2847-2002 dengan nilai minimal berat 3 jenis 561,185 kg/m dengan variasi fly ash 56,19%, Persentase fly ash dan variasi foam menghasilkan nilai daya serap air yang memenuhi SNI 03-0349-1989 terdapat pada nilai optimal 23,583% dengan variasi fly ash 28,52% dan foam 50% [5]. pengujian kuat tekan terhadap fungsi waktu diperoleh nilai pada umur 1 hari hasil perhitungan tidak menyimpang dari posisi garis ekuitas, setelah umur 3 dan 7 hari, hasil perhitungan kuat tekan menghasilkan nilai over estimate berarti nilai hasil pengujian lebih rendah dari hasil persamaan dapat dinyatakan bahwa proses pengerasan kaut tekan beton lambat, sedangkan umur 14, 28 hari dan seterusnya terjadi sebaliknya yaitu menghasilkan kuat tekan dibawah garis ekuitas atau under estimate berarti nilai hasil pengujian lebih tinggi dari hasil persamaan sehingga dapat dinyatakan bahwa proses pengerasan kaut tekan beton semakin cepat [6]. pemanfaatan abu terbang (fly ash) kelas F sebagai pengganti sebagian semen tidak berhasil dilakukan untuk pencampuran beton normal mutu 30 MPa, dikarenakan fly ash kelas F yang digunakan pada penelitian ini kurang baik, hanya dapat digunakan untuk campuran beton mutu rendah saja dan sifatnya pun tidak seperti semen yang mengikat, hanya bersifat pozzolan, sehingga mempengaruhi terhadap kuat tekan beton [7]. pada penambahan campuran volume fraksi serbuk kaca dan abu terbang sebesar (FcTM- SK 25% + AT 5%) pada umur 3, 14 dan 28 hari nilai kekuatan hancur tekannya lebih tinggi dibandingkan dengan atau tanpa penambahan campuran volume fraksi serbuk kaca dan abu terbang sebesar (FcTM- SK 5%, 10%, 15%, 20% + AT 5%). Dari hasil penelitian analisa pengaruh serbuk kaca dan abu terbang sebagai bahan pengganti alternatif terhadap kuat tekan diperoleh komposisi campuran yang optimal yaitu (FcTM- SK 15% + AT 5%) karena pada umur 28 hari nilai kuat tekan beton rata-ratanya sebesar 26,99 MPa dengan pencapaian peningkatan kekuatan beton normal

sebesar 5,55% [8]. penggunaan fly ash mampu meningkatkan kuat tekan beton non-pasir. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada perlakuan penambahan fly ash sebanyak 10 % yaitu sebesar 6,443 N/mm². Komposisi optimum diperoleh pada perlakuan substitusi fly ash sebanyak 20 %, dengan peningkatan kuat tekan beton non-pasir sebesar 46,64 % dari beton non-pasir normal. Penambahan Fly Ash 10 % mencapai selisih kuat tekan yang tidak begitu signifikan dari kuat tekan beton non-pasir substitusi Fly Ash 20 % yaitu sebesar 4,55 % dengan demikian substitusi Fly Ash 20 % lebih efisien [9]. kuat tekan mortar dengan fly ash 15 %, 25 % dan 40 % lebih rendah bila dibandingkan dengan kuat tekan mortar tanpa fly ash pada umur 7 hari. Hal ini disebabkan karena perilaku fly ash dalam reaksi hidrasi berjalan lambat. Sedangkan pada umur 28 hari, kuat tekan mortar dengan fly ash 10% dan 15% lebih tinggi dibandingkan dengan mortar tanpa fly ash. Fenomena ini disebabkan oleh kapur bebas hasil reaksi semen dan air akan bereaksi dengan fly ash membentuk senyawa tobermorite [10]. Hasil kuat tekan untuk variasi fly ash kadar 15%, 30%, dan 40% berturut – turut sebesar 38,10 Mpa; 34,05 Mpa; 32,92 Mpa; dan persentase kenaikan masing – masing sebesar 26,65%; 13,17%; dan 9,40%. Pada pengujian kuat tarik belah beton dengan variasi kadar fly ash 15%, 30%, dan 40% mendapatkan hasil berturut – turut sebesar 3,87 Mpa; 2,34 Mpa; 2,08Mpa; dan persentase terhadap kuat tekan masing – masing sebesar 10,16%; 6,89; dan 6,32%. Untuk pengujian modulus elastisitas beton dengan variasi kadar fly ash 15%, 30%, dan 40% mendapatkan hasil berturut – turut sebesar 26281,67 Mpa; 20647,00 Mpa; dan 18312,33 Mpa [11]. Nilai hasil pengujian pada umur 28 hari menunjukkan hasil rata-rata kuat tekan beton normal dry curing lebih tinggi 13,28% dari beton bottom ash yang dirawat dengan metode dry curing. Pada metode wet curing, nilai kuat tekan beton normal lebih tinggi 40,17% dari beton bottom ash [12]. dari setting faktor semen pada level 3 sebesar 1,607 kg (A3), interaksi antara semen pada level 3 sebesar 1,607 kg dan air pada level 2 sebesar 1,243 lt (A3B2) serta air pada level 2 sebesar 1,243 lt (B2) dan berdasarkan identifikasi faktor maka faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kuat tekan campuran LPAS-A adalah semen (A), interaksi antara semen dan air (Ax B), serta air (B). Adapun persentase pengaruh berdasarkan rata-rata kuat tekan eksperimen Taguchi adalah 46,017% (semen), 20,593% (interaksi semen dan air), dan 5,904% (air). Sedangkan persentase pengaruh berdasarkan rasio S/N kuat tekan eksperimen Taguchi adalah 40,767% (semen), 23,648% (interaksi semen dan air), dan 6,221% (air) [13]. kuat beton pada umur 28 hari menunjukkan pada penambahan masing-masing fly ash, 0% menghasilkan kuat tekan (56,21 MPa), 5% (56,21 MPa), 8% (51,68 MPa), 10% (56,59 MPa), dan 15% (60,36MPa). Untuk umur pengujian 56 hari, 0% menghasilkan kuat tekan (64,13 MPa), 5% (63,26 MPa), 8% (56,59 MPa), 10% (63,94MPa), dan 15% (66,96 MPa). Terjadi

penambahan kekuatan 10,94% pada umur 56 hari dibandingkan kuat tekan pada umur 28 hari dengan penambahan fly ash batu bara sebesar 15% [14].

2. Metodologi Penelitian

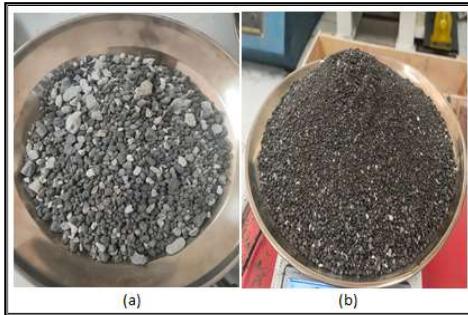
Penelitian ini mengenai eksperimen dengan penambahan limbah *Fly Ash* dan *Bottom Ash* (FABA) sebagai pengganti semen dan agregat halus pada campuran beton normal untuk mengetahui seberapa besar pengaruh terhadap uji tekan beton. Persentase penambahan FABA sebagai bahan tambahan yang direncanakan adalah sebesar 15%, 20%, 25% dengan umur rencana 7, 14 dan 28 hari. Kegiatan penelitian penambahan limbah *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) terhadap uji kuat tekan beton ini penulis melaksanakan penelitian di Laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang. Sedangkan limbah *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) yang digunakan merupakan limbah *fly ash* dan *bottom ash* dari PLTU Teluk Sirih, Kec. Bungus, Kota Padang Sumatera Barat.

Pengujian material meliputi : berat jenis semen (SNI 15-2531-1991), Pengujian kadar lumpur agregat (SNI 03-4141-1996), Pengujian Kadar air agregat (03-1971-1990), Penentuan Berat Jenis dan Penyerapan agregat halus (SNI 1970:2008), Penentuan Berat Jenis dan Penyerapan agregat kasar (SNI 1969:2008), Analisa saringan agregat kasar dan halus (SNI 03-1968-1990) dan pemeriksaan keausan agregat kasar dengan mesin los angeles (SNI 2417:2008). Adapun untuk kebutuhan Fly Ash dan Battom Ash pada setiap variasi persentase untuk 3 buah sampel adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Kebutuhan material

No	Material	Normal (Fc 28) (Kg)	Beton FABA 15% (Kg)	Beton FABA 20% (Kg)	Beton FABA 25% (Kg)
1	Semen	5,58	4,74	4,46	4,19
2	Air	2,95	2,95	2,95	2,95
3	agregat halus	7,74	6,58	5,03	3,10
4	agregat kasar	10,69	10,69	10,69	10,69
5	Fly Ash	0,00	0,84	1,12	1,40
6	Bottom Ash	0,00	1,16	1,55	1,94

Bahan pengganti semen yaitu *fly ash* langsung digunakan tanpa dilakukan analisa saringan. Hal ini dikarenakan tekstur *fly ash* yang secara visual gradasinya sama dengan semen. Sedangkan pada proses pencetakan limbah *bottom ash* yang digunakan merupakan limbah *bottom ash* yang lolos saringan No 16. Hal ini dilakukan karena ukuran gradasi dari *bottom ash* yang dominan terdiri dari ukuran yang besar sehingga perlu dilakukan penyaringan untuk menyesuaikan ukuran gradasi dari agregat halus. Perbandingan keduanya disajikan pada gambar 1 dan gambar 2.

Gambar 1. (a) *Fly Ash* (b) SemenGambar 2. (a) *Bottom Ash* sebelum disaring (b) setelah disaring

Pencetakan beton yang digunakan dalam perencanaan ini merupakan cetakan berbentuk kubus dengan ukuran $150 \times 150 \times 150$, lalu pada saat pencampuran beton memiliki 2 jenis pencetakan yang dimana beton diganti

dengan limbah FABA dan tanpa bahan pengganti. Pencetakan pada pengujian ini sebanyak 30 sampel yang dimana semple merupakan sample yang bahan penyusunnya diganti dalam persentase 15%, 20% dan 25%. Bahan penyusun yang diganti yaitu semen dan agregat halus, dimana *fly ash* untuk pengganti semen dan *bottom ash* untuk pengganti pasir. Sampel dengan persentase 15%, 20% dan 25% masing-masing sampel berjumlah 9 sampel dan beton normal berjumlah 3 sampel. Sehingga jumlah keseluruhan sampel yang diuji pada penelitian kali ini berjumlah 30 sampel. Alat yang perlu dipersiapkan antara lain seperti cetakan yang harus dirakit terlebih dahulu dan diolesi minyak atau pelumas. Hal ini dilakukan untuk mencegah beton menempel pada cetakan sehingga memudahkan dalam proses pembongkaran cetakan setelah beton mengeras. Selain itu, persiapan material yang dilakukan adalah menimbang semua bahan penyusun beton sesuai kebutuhan material yang disajikan pada tabel 1. Bahan yang sudah ditimbang kemudian diaduk menggunakan molen. Semen, agregat halus, agregat kasar dan FABA diaduk terlebih dahulu kemudian air dimasukkan sedikit demi sedikit sampai adukan beton tampak mempunyai kelecekan. Adukan beton segar kemudian dikeluarkan dan ditampung dalam bejana kemudian diuji slump. Slump Test beton adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui seberapa kental adukan beton yang akan dicetak.

Tabel 2. Data *slump test*

Umur <i>Curing</i>	% Pengganti	Jumlah Sampel	<i>Slump Test</i>				Rata - rata <i>slump</i> (cm)
			T1	T2	T3	T4	
7	15%	3	19,1	16,3	18,0	13,7	16,8
	20%	3	17,7	17,5	16,3	15,1	16,7
	25%	3	14,3	14,9	15,6	17,2	15,5
	15%	3	18,4	16,0	10,2	17,7	15,6
14	20%	3	11,0	18,9	10,3	18,8	14,8
	25%	3	6,2	19,3	14,4	15,5	13,9
	0%	3	19,1	6,2	6,2	17,5	12,3
	15%	3	22,0	19,1	5,5	13,7	15,1
28	20%	3	11,0	18,8	18,8	10,3	14,7
	25%	3	6,0	19,9	19,2	6,1	12,8

Perawatan benda uji dalam penelitian dilakukan untuk menjamin proses hidrasi semen agar berlangsung dengan sempurna dengan cara merendam beton yang dilakukan didalam bak perendaman beton (*Curing*) yang telah di diamkan selama 24 jam. Perawatan benda uji dilakukan pada umur rencana 7, 14 dan 28 hari.

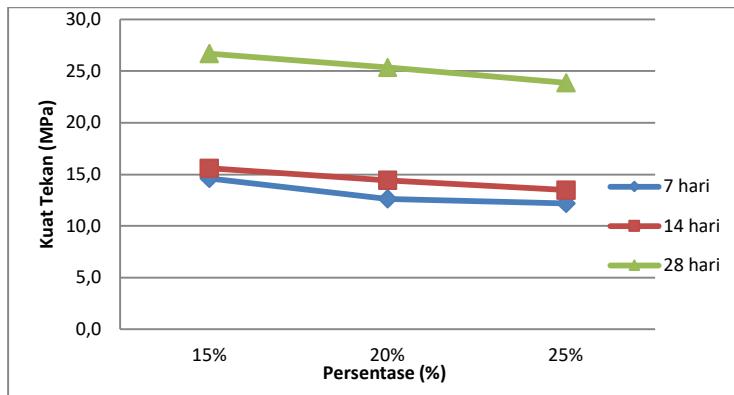
3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui mutu beton hasil rancangan sebelumnya menggunakan mesin kuat tekan atau *Compressive Strength Machine*. Niai kuat tekan beton disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan beton

No	Persentase (%)	Hari	Bacaan alat (N)			Luas Alas (mm ²)	Kuat Tekan (Mpa)			Rata-rata (Mpa)
			Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
1	15%		365000	311000	310000	22500	16,2	13,8	13,8	14,6
2	20%	7	300000	253000	300000	22500	13,3	11,2	13,3	12,6
3	25%		282000	271000	270000	22500	12,5	12,0	12,0	12,2
4	15%		350000	360000	342000	22500	15,6	16,0	15,2	15,6
5	20%	14	320000	325000	330000	22500	14,2	14,4	14,7	14,4
6	25%		300000	310000	300000	22500	13,3	13,8	13,3	13,5
7	0%		639000	630000	650000	22500	28,4	28,0	28,9	28,4
8	15%		580000	621000	600000	22500	25,8	27,6	26,7	26,7
9	20%	28	571000	550000	591000	22500	25,4	24,4	26,3	25,4
10	25%		511000	562000	538000	22500	22,7	25,0	23,9	23,9

Kuat tekan beton dari umur rencana dan variasi yang berbeda memiliki kuat tekan yang berbeda pula. Perbandingan tersebut disajikan pada gambar 3. Kuat tekan pada umur rencana 7 hari persentase 15%, 20% dan 25% mencapai 14,6 Mpa, 12,6 Mpa dan 12,2 Mpa. Pada umur rencana 14 hari mencapai 15,6 MPa, 14,4 MPa dan, 13,5 Mpa dan pada umur rencana 28 hari 26,7 Mpa, 25,4 Mpa dan 23,9 Mpa.



Gambar 3. Grafik kuat tekan beton FABA

Pada tabel 2 menunjukkan semakin meningkat persentase *Fly Ash* dan *Bottom Ash* pada beton nilai *slump test* semakin menurun. Hal ini disebabkan *Bottom Ash* yang memiliki rasio penyerapan air lebih tinggi dibandingkan dengan partikel pasir biasanya sehingga sebagian air diserap secara internal oleh partikel *Bottom Ash* pada saat pengadukan dalam molen. Semakin banyak partikel *Bottom Ash* pada campuran beton maka semakin banyak air yang diserap sehingga mengakibatkan adukan beton semakin kental sehingga terjadi sedikit keruntuhannya saat uji *slump*. Hasil pengujian pada umur perawatan 7, 14 dan 28 hari semua menunjukkan bahwa pola perkembangan kuat tekan menurun dengan meningkatnya persentase penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti semen dan pasir. Walaupun kuat tekan pada umur perawatan 14 hari lebih tinggi dari kuat tekan pada umur perawatan 7 hari namun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Berbeda dengan umur perawatan 28 hari, kuat tekan melalui lebih cepat daripada umur rencana 14 hari. Perbedaan kuat tekan pada umur perawatan 28 hari menunjukkan peningkatan kuat tekan yang signifikan. Penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus menunjukkan peningkatan jumlah dan ukuran rongga pada beton. Namun dikarenakan tekstur dari *bottom ash* yang kasar dan tidak beraturan. Sehingga pori-pori beton terbentuk lebih halus dari biasanya dikarenakan variasi ukuran dari *bottom ash*. Hasil dari penelitian ini sebanding dengan yang dilaporkan oleh Mahdi Rafiezono Dkk bahwa pada umur 28 hari beton campuran *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) tidak mencapai kuat tekan yang direncanakan. Namun mengalami peningkatan setelah umur perawatan 91 hari dan 180 hari. Pada penelitian kali ini peneliti terkendala dengan keterbatasan waktu penelitian sehingga tidak dapat melanjutkan penelitian untuk perawatan lebih dari umur 28 hari. Berdasarkan penelitian terdahulu melaporkan bahwa pada perawatan 91 hari dan 180 hari meningkatkan kuat tekan beton dikarenakan kandungan kalsium silikat

hidrat (CSH) pada *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) mengakibatkan penyebaran halus secara ekstra akibat konsumsi *portlandite* oleh aksi *pozzolan* pada *fly ash* dan *bottom ash*. *portlandite* yaitu mineral yang terbentuk selama perawatan beton. Hal inilah yang mungkin telah mempengaruhi kuat tekan beton pada umur perawatan awal. Pada umur perawatan setelah 28 hari gel kalsium silikat hidrat (CSH) terus menyebar sehingga meminimalisir rongga atau pori-pori pada beton.

4. Kesimpulan

Nilai kuat tekan pada perawatan 28 hari persentase 0%, 15%, 20% dan 25% mencapai 28,4 Mpa, 26,7 Mpa, 25,4 Mpa, dan 23,9 Mpa. Maka diperoleh kuat tekan yang optimum adalah campuran beton dengan bahan pengganti sebesar 15% pada umur perawatan 28 hari dengan nilai kuat tekan mencapai 26,7 Mpa. Pola perkembangan kuat tekan menurun dengan meningkatnya persentase penggunaan *fly ash* dan *bottom ash*. Namun, umur perawatan beton juga mempengaruhi kuat tekan beton campuran karena semakin lama umur perawatan semakin kecil rongga pada beton sehingga menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Ini dapat dilihat perbedaan yang signifikan pada umur perawatan awal dan umur perawatan 28 hari. Ini menunjukkan sifat FABA membutuhkan waktu yang lebih lama dari beton normal untuk bereaksi terhadap bahan penyusun beton lainnya. Beton termasuk pada klasifikasi beton mutu sedang. Maka formula campuran beton ini dapat digunakan pada beberapa struktur yang dapat menggunakan mutu beton sedang. Diantaranya yaitu beton bertulang seperti plat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan. Pada penelitian mahdi rafiezono juga menyarankan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* dapat digunakan pada beberapa struktur seperti pondasi, *sub-base*, perkerasan dll.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Setiawan, R Dkk. (2017). Pengaruh Sulfat Pada Kekuatan Beton Yang Menggunakan Limbah Batu Bara Sebagai Bahan Pengganti Semen. *Jurnal Teknik Sipil UBL*. Vol 8 No. 2 Hal 1093-198.
- [2] Muhamram, Mohamad & Walujodjati, Eko. (2022). Pengaruh Penggunaan FLY ASH sebagai Substitusi Semen dan Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Konstruksi*. 19. 310-317. <http://dx.doi.org/10.33364/konstruksi.v19.2.917>
- [3] Sekarini, Dwitami & Sri Sunarsih, Ernawati & Siswanto, Budi. (2020). Pengaruh Serbuk Keramik Sebagai Pengganti Agregat Halus Dan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Pengganti 15% Berat Semen Terhadap Kuat Tarik Belah Dan Porositas Pada Beton. *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*. 5. 27. <http://dx.doi.org/10.20961/ijcee.v5i2.43485>
- [4] Utami, Liona & Habsya, Chundakus & Agustin, Rima. (2023). Pengaruh Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Berat Isi dan Kuat Tekan Segmen Kolom Praktis Modular Ramah Lingkungan. *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*. 9. 14. <http://dx.doi.org/10.20961/ijcee.v9i1.66607>
- [5] Prmausyagi, Apriadi & Habsya, Chundakus & Sumarni, Sri. (2016). Pengaruh Pemanfaatan Fly Ash Pada Beton Ringan Foam Untuk Dinding Partisi Terhadap Kuat Tekan, Berat Jenis Dan Daya Serap Air. *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*. 2. <http://dx.doi.org/10.20961/ijcee.v2i2.22580>
- [6] Tumingan, Tumingan & Alwi, Salma & Tistro, Rafian. (2018). Peningkatan Kuat Tekan Beton Pond Ash Pengganti Sebagian Agregat Halus Berdasarkan Fungsi Waktu. *Jurnal Politeknologi*. 17. <http://dx.doi.org/10.32722/pt.v17i1.1087>
- [7] Anggarini, Elia & Hardiani, Dyah. (2023). Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Subtitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Normal 30 MPa. *Jurnal Kacapuri* : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil. 6. 51. <http://dx.doi.org/10.31602/jk.v6i1.11559>
- [8] Amiwarti, Amiwarti & Mahipal, Mahipal. (2019). Analisa Pengaruh Serbuk Kaca Dan Abu Terbang Sebagai Bahan Pengganti Alternatif Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Deformasi*. 4. 1. <http://dx.doi.org/10.31851/deformasi.v4i1.2969>
- [9] Purwono, Novi & A.M, Reni & Cahyo, Andika & Utomo, Windi. (2020). Pengaruh Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton Non-Pasir. *Jurnal Rekayasa*. 10. 56-71. <http://dx.doi.org/10.37037/jrftsp.v10i1.46>
- [10] Nofrisal, Nofrisal & Rantesalu, Sepry. (2020). Pengaruh Abu Terbang (Fly Ash) Pltu Sekyan Sebagai Subtitusi Pengganti Sebagian Semen Pada Juat Tekan Mortar. *Jurnal Borneo Saintek*. 3. 19-27. http://dx.doi.org/10.35334/borneo_saintek.v3i1.1406
- [11] Kuncoro, Fajar. (2021). Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton dengan Bahan Pengganti Semen Fly Ash Kadar 15%, 30%, dan 40% Terhadap Beton Normal. *Matriks Teknik Sipil*. 9. 170. <http://dx.doi.org/10.20961/mateksi.v9i3.54494>
- [12] Hardiana, Hardiana & Junus, Nasruddin & Mushar, Pratiwi. (2019). Bottom Ash: Pengganti Agregat Halus dalam Pembuatan Beton. *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*. 8. 109-115. <http://dx.doi.org/10.32315/jlbi.8.2.109>
- [13] Lestari, Utami & Rahman, Fauzi & Yasruddin, Yasruddin & Aminullah, Muhammad. (2022). Analisis Pengaruh Bahan Campuran Terhadap Kekuatan Lapis Pondasi Agregat Semen (LPAS) Kelas A dengan Fly Ash (Abu Terbang). *Buletin Profesi Insinyur*. 5. 56-65. <http://dx.doi.org/10.20527/bpi.v5i2.142>
- [14] Yusra, Andi & Aulia, Teuku & Jufriadi, Jufriadi. (2018). Pengaruh Bahan Tambah Fly Ash Batu Bara Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*. 1. <http://dx.doi.org/10.35308/jts-utu.v1i1.717>