

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN DAN SUBSTITUSI AGREGAT *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN BETON NON-PASIR

Novi Andhi Setyo Purwono¹, Reni Sulistyawati A.M.², Andika Cahyo Wicaksono³,
Windi Wahyu Utomo⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma Purwokerto

Email : ¹ novi_andhisip@yahoo.com, ² reni_sam_arena@yahoo.co.id, ³ cahyoandika2@gmail.com,
⁴ windiwahyu314@gmail.com

ABSTRAK

Beton tanpa pasir merupakan beton ringan yang digunakan dengan mengedepankan faktor akustik. Susunannya tanpa agregat halus sehingga memiliki rongga yang besar dan kuat tekan yang dihasilkan jauh lebih rendah dibandingkan beton norma akibat rongganya yang besar. Untuk memperbaiki kualitas ataupun meningkatkannya perlu pemilihan material. Salah satu material yang diketahui mampu meningkatkan sifat tersebut adalah *fly ash*. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan pembuat beton sudah banyak dilakukan, akan tetapi pemanfaatannya sebagai bahan pembuat beton non pasir belum banyak dilakukan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah *fly ash* batubara terhadap kuat tekan beton non-pasir. Metode penelitian yang digunakan dalam pembuatan beton non-pasir ini yaitu *trial and error method of mix design*. Perlakuan yang diberikan berupa dua faktor yaitu variasi *fly ash* dan umur beton. *Fly ash* yang diberikan terdiri dari 5 (lima) taraf yaitu substitusi 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, dan penambahan 10 % dari jumlah semen yang digunakan. Faktor yang kedua berupa umur beton yang terdiri dari 3 (tiga) taraf yaitu umur beton 7, 14, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan 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.

Kata kunci: Beton non pasir, *fly ash*, kuat tekan, substitusi, umur beton.

ABSTRACT

Non-fines concrete is lightweight concrete that is used by prioritizing aquatic factors. The arrangement is without fine aggregates so that it has a large cavity and the resulting compressive strength is much lower than normal concrete due to its large cavity. To improve the quality or improve it requires material selection. One material that is known to be able to improve these properties is fly ash. The use of fly ash as a material for making concrete has been widely used, however, its use as a material for no-fines concrete has not been widely used. The research method used in this study is trial and error method of mix design. The treatment given is in the form of two factors, which are the amount variation of fly ash and age of the concrete. Fly ash given consists of 5 (five) levels, substitution of 0%, 10%, 20%, 30%, and an additional 10% of the amount of cement used. While the second factor is the age of concrete which consists of 3 (three) levels, which are 7, 14, and 28 days. The results showed the use of fly ash can

increase the compressive strength of no fines concrete. The highest compressive strength obtained in the treatment of fly ash addition of 10%, which is 6.443 N / mm². However, the optimum formula was obtained in the treatment of fly ash substitution as much as 20%, with an increase in compressive strength of no fines concrete by 46.64% from normal no fines concrete. The addition of fly ash by 10% achieves the difference of compressive strength which is not so significant from the compressive strength of no fines concrete with fly ash substitution of 20% which is equal to 4.55%, thus the fly ash substitution of 20% is more efficient.

Keywords: No-fines concrete, fly ash, compressive strength, substitution, age of concrete.

1. PENDAHULUAN

Limbah hasil pembakaran batu bara pada PLTU Karangandri Cilacap setiap bulan cukup banyak dan membutuhkan lahan yang luas untuk menampung limbah tersebut. Dampak limbah tersebut kurang bagus terhadap lingkungan sekitar, sehingga perlu adanya penanganan agar tidak berdampak lebih buruk lagi. Beton tanpa pasir merupakan beton ringan yang memiliki rongga yang besar, sehingga berat jenisnya kecil. Dengan memiliki rongga yang besar berdampak terhadap kuat tekan beton tanpa pasir jauh dibawah beton normal. Bentuknya yang akustik dan ringan untuk konstruksi tetapi kuat tekan yang lebih rendah dari beton normal, perlu adanya inovasi untuk menaikkan kuat tekan. Untuk meningkatkan kualitas dan kuat tekan perlu pemilihan material penyusun beton tanpa pasir tersebut, salah satu inovasinya adalah memanfaatkan limbah pembakaran batu bara berbentuk *fly ash*.

Dinding merupakan salah satu bagian terpenting dalam suatu bangunan, dimana awalnya hanya berfungsi sebagai penyekat antar ruangan. Seiring berkembangnya teknologi konstruksi, fungsi dinding pada bangunan tidak lagi sekedar sebagai penyekat. Penambahan fungsi tersebut tidak lain karena bertambahnya kebutuhan konstruksi yang melahirkan inovasi-inovasi baru. Saat ini dinding telah memiliki beberapa fungsi, mulai dari fungsi keindahan atau arsitektural, sampai dengan fungsi sebagai pembantu penopang beban struktur atau *bearing wall*. Jika ditinjau dari segi keteknik sipilan, pemanfaatan dinding sebagai pembantu penopang beban struktur sangat menarik untuk didalami. Karena dengan pemanfaatan tersebut, dinding pada gedung bertingkat tidak lagi hanya menambah beban struktur saja, namun justru dapat menambah kekuatan struktur itu. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan pada pemilihan material dinding diantaranya yaitu dari segi insulasi suara dan udara. Suatu dinding, terutama dinding luar pada gedung, harus memiliki insulasi suara dan udara yang baik untuk menunjang kenyamanan pengguna di dalam gedung.

No Fines Concrete atau beton non-pasir merupakan beton yang menggunakan sedikit atau tanpa agregat halus. Sebagai upaya untuk mengurangi kebutuhan semen dan sebagai wujud upaya konservasi lingkungan hidup, maka digunakan bahan tambahan atau *addmixture* berupa *fly ash*. Pemilihan *fly ash* sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton non-pasir dilakukan karena penambahan *fly ash* dengan prosentase tertentu diketahui dapat meningkatkan kekuatan beton itu sendiri. Selain hal itu, ketersediaan *fly ash* cukup melimpah karena material tersebut merupakan produk samping dari pembakaran batu bara, dan merupakan kategori limbah yang memang harus dikelola agar tidak mencemari lingkungan. Oleh karena itu, penelitian tentang penambahan *fly ash* sebagai bahan tambahan beton non-pasir menarik untuk dilakukan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beton merupakan bahan bangunan yang amat populer di masyarakat karena bahan dasarnya mudah diperoleh. Salah satu kekurangan dari beton adalah berat jenisnya yang relatif tinggi. Untuk mengurangi berat jenis tersebut maka digunakan beton non pasir, yaitu beton yang dibuat dari agregat kasar, semen dan air, tanpa menggunakan pasir. Karena tanpa pasir maka beton ini mempunyai banyak rongga sehingga menyebabkan berat jenisnya rendah. Selain itu, karena tanpa pasir maka hanya membutuhkan pasta semen sedikit untuk menyelimuti agregatnya. Pasta semen yang digunakan untuk mengikat butir-butir agregat halus tidak ada, yang ada hanya dipakai untuk menyelimuti butir-butir agregat kasar saja, dan merekatkan antar butiran agregat kasar tersebut. Dengan demikian akan menghemat biaya karena hanya membutuhkan pasta semen yang sedikit dibandingkan dengan beton normal.

Beton non pasir banyak diaplikasikan untuk bata merah atau batako, sehingga dapat dipakai sebagai bahan pembuat dinding tembok atau bagian bangunan non-struktural yang lain. Di negara-negara yang sudah maju, beton yang tidak mengandung butiran halus dipergunakan tanpa tulangan untuk bangunan sampai delapan lantai. Mengingat beton non pasir hanya terbuat dari pasta semen yang berfungsi sebagai perekat dan agregat kasar sebagai pengisi, maka sifat betonnya juga ditentukan oleh sifat pasta dan agregat kasarnya (Purwono, NAS, 2012).

Purwono, NAS, 2012, dalam penelitian menggunakan 3 jenis agregat kasar, yaitu kerikil alami, kricak (batu pecah dengan tangan) dan split (batu pecah dengan mesin) yang berasal dari Sungai Krasak di daerah Tempel, Sleman, Yogyakarta. Ketiga jenis agregat kasar tersebut digunakan untuk pembuatan beton non-pasir dengan perbandingan volume agregat-semen ditentukan 6 : 1 dan faktor air semen 0,4. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa agregat kasar berupa kerikil, kricak, dan split mempunyai berat jenis berturut-turut $2,46 \text{ kg/dm}^3$, $2,51 \text{ kg/dm}^3$, $2,58 \text{ kg/dm}^3$. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kuat desar silinder beton non-pasir terbesar diperoleh dengan menggunakan agregat kasar kerikil alami dengan ukuran butir maksimum 10 mm.

Abu terbang (*fly ash*) diperoleh dari hasil residu PLTU. Material ini berupa butiran halus ringan, bundar, tidak porous, mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air. Dalam penelitian Subekti (2012), dilakukan pengujian mengenai komposisi kimia *fly ash* yang berasal dari PLTU Paiton Probolinggo.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan cara membuat benda uji (sampel) di Laboratorium Rekayasa Struktur Fakultas Teknik Universitas Wijayakusuma. Benda uji dalam penelitian ini adalah beton non pasir yang menggunakan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen dengan variasi campuran 0%, 10%, 20%, 30% dan penambahan 10 % dari berat semen. Sedangkan waktu pengujian dilakukan setelah beton berumur 7, 14, dan 28 hari. Metode penelitian yang digunakan dalam perencanaan campuran beton ini adalah metode *trial mix* atau bisa disebut metode eksperimen. Eksperimen yang dilakukan adalah dengan menambahkan *fly ash* pada campuran beton non-pasir. Kemudian akan membandingkan aspek kekuatan beton non-pasir dengan kandungan 0% *fly ash* yang bertindak sebagai kelompok kontrol dengan beton yang ditambahkan dengan *fly ash* yang bertindak sebagai kelompok eksperimen.

Dari hasil perencanaan campuran tersebut di atas, diharapkan dapat diketahui pengaruh penambahan *fly ash* pada beton non-pasir, selain itu juga dikaji keuntungan dan kerugian dari penambahan *fly ash* pada beton non-pasir jika dibandingkan dengan beton non-pasir tanpa penambahan *fly ash*.

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Semen Portland Komposit (PCC), Penelitian ini menggunakan semen Portland Tipe I dengan satuan 50 kg/sak.
2. Air, Air yang digunakan adalah air yang bersih, tidak mengandung lumpur, minyak, dan tidak mengandung garam dan zat-zat lain yang dapat larut dan dapat merusak beton. Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Rekayasa Struktur Fakultas Teknik Universitas Wijayakusuma.
3. Agregat Kasar, Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan agregat kasar dari quarry di daerah Wangon dengan ukuran agregat 10-20 mm.
4. *Fly Ash*, *Fly Ash* sebagai bahan tambahan dalam penelitian ini berasal dari PLTU Tanjung Jati yang berada di daerah Jepara.

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Cetakan Benda Uji, Cetakan yang digunakan cetakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm digunakan untuk pembuatan benda uji pada pengujian kuat tekan beton.
2. Saringan, Alat ini digunakan untuk mengukur gradasi agregat sehingga dapat ditentukan nilai modulus kehalusan butir agregat kasar dan agregat halus. Untuk penelitian ini gradasi agregat kasar menggunakan ukuran maksimum 20 mm.
3. *Compressing Testing Machine* (CTM), CTM merupakan alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kuat tekan beton silinder ($d=150$ mm dan $t=300$ mm).
4. Antan Pemas, Alat ini digunakan sebagai pematat beton segar.
5. Timbangan, Timbangan digunakan untuk menimbang bahan – bahan dasar pembentuk beton. Timbangan yang digunakan yaitu timbangan digital dan timbangan manual dengan ketelitian masing-masing timbangan 0,01 gr, 15 kg, 20 kg, dan 25 kg.
6. Mesin Pengaduk Beton (Concrete Mixer), Untuk mencampur adukan beton menggunakan mesin Concrete Mixer berkapasitas 0,125 m³ dengan kecepatan 20-30 rpm.
7. Gelas Ukur, Gelas ukur digunakan untuk mengukur keperluan air pada pengolahan adukan beton. Gelas ukur yang digunakan yaitu gelas ukur dengan kapasitas 250 ml, 1000 ml, dan 2000 ml.
8. Alat XRF, Alat XRF digunakan untuk menguji kandungan kimia yang terdapat dalam *fly ash*.
9. Oven, merupakan salah satu alat laboratorium yang penting, berfungsi untuk memamaskan atau mengeringkan alat-alat laboratorium, bahan uji atau objek-objek lainnya.
10. Cetakan lapisan capping, merupakan alat laboratorium yang berfungsi untuk mencetak lapisan capping beton.
11. Lumpang dan alu bahan kayu, Alat yang digunakan untuk menumbuk bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian. Alat ini digunakan untuk menumbuk belerang padat sehingga diperoleh belerang serbuk yang dapat mempermudah dan mempercepat pencairan belerang.
12. Alat Bantu, Selama proses pembuatan benda uji digunakan beberapa alat bantu diantaranya adalah ember, sendok semen, mistar, palu dan container.

4 PELAKSANAAN PENELITIAN

Metode pelaksanaan penelitian yang dilakukan meliputi hal-hal sebagai berikut:

a. Persiapan bahan

Semua bahan yang diperlukan dalam penelitian ini dipersiapkan dan disimpan di Laboratorium Struktur Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Wijayakusuma. Mulai dari semen, agregat kasar, air, dan *Fly Ash*.

b. Pengujian bahan campuran beton

Pengujian dan pemeriksaan bahan campuran beton terdiri dari:

- a. Penyaringan agregat kasar.
Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan pemisahan butir agregat kasar dengan menggunakan saringan.
- b. Berat jenis agregat kasar.
Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis agregat kasar dalam kondisi SSD dan kondisi kering sesuai standar yang telah ditetapkan.
- c. Pengujian kandungan kimia *fly ash*
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar dari masing-masing unsur kimia yang terdapat dalam *fly ash* dengan menggunakan alat XRF, yang nantinya digunakan untuk menentukan tipe dari *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini.

c. Pembuatan rencana campuran (*mix design*).

Rencana campuran semen, *Fly Ash*, air, dan agregat sangat penting untuk mendapatkan kekuatan beton yang diinginkan. Dalam penelitian ini rencana campuran beton menggunakan metode *trial and error*, dengan target kuat tekan sebesar $f'c = 12$ Mpa.

d. Pembuatan Benda Uji.

Benda uji dibagi berdasarkan prosentase *Fly Ash*, yaitu:

Tabel 1. Variasi Benda Uji

No	Variasi Benda Uji	KODE	Umur	Jumlah
1	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 0%	A7	7	5
2	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 10%	B7	7	5
3	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 20%	C7	7	5
4	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 30%	D7	7	5
5	Benda Uji Penambahan <i>Fly Ash</i> 10%	E7	7	5
6	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 0%	A14	14	5
7	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 10%	B14	14	5
8	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 20%	C14	14	5
9	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 30%	D14	14	5
10	Benda Uji Penambahan <i>Fly Ash</i> 10%	E14	14	5
11	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 0%	A28	28	5
12	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 10%	B28	28	5
13	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 20%	C28	28	5
14	Benda Uji Substitusi <i>Fly Ash</i> 30%	D28	28	5
15	Benda Uji Penambahan <i>Fly Ash</i> 10%	E28	28	5
Jumlah Variasi				75

Langkah-langkah pembuatan benda uji:

1. Setelah bahan-bahan material dipersiapkan/ditimbang, *concrete mixer* dihidupkan, kemudian sebagian air, agregat kasar, *Fly Ash* dan semen. Setelah tercampur merata, lalu dilakukan penambahan air secara bertahap. Selanjutnya dibiarkan *concrete mixer* berputar sampai bahan adukan tercampur merata yang dilakukan dengan pengamatan visual.

2. Penuangan adukan kedalam cetakan silinder dilakukan dengan sekop. Setiap pengambilan adukan dengan sekop harus dapat mewakili dari campuran tersebut. Apabila diperlukan, campuran beton dapat diaduk kembali dengan menggunakan sendok aduk agar tidak terjadi segregasi selama pencetakan benda uji yang dilanjutkan dengan pemadatan menggunakan penggetar internal. Secara umum pemadatan dengan menggunakan antan pematat dilakukan selama 5–15 detik. Agar tidak terjadi *segregasi*. Setelah masing-masing lapisan dipadatkan kemudian diratakan permukaannya.

e. Pemeliharaan Benda Uji (*Curing*)

Tujuan dari pemeliharaan adalah untuk mencegah terjadinya kehilangan air dalam jumlah besar pada saat bersamaan air yang diperlukan untuk hidrasi tahap awal dan merupakan saat yang kritis. Pencegahan yang dapat dilakukan dengan cara menyiram, merendam, menutupi dengan karung goni yang dibasahi. Pada penelitian ini perawatan dilakukan dengan cara merendam selama tujuh hari. Setelah direndam selama tujuh hari, benda uji diangkat dari dalam air dan didiamkan dalam udara terbuka sampai umur beton mencapai umur rencana.

f. Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian mengacu pada SNI 1974-2011 mengenai cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kuat tekan beton adalah *Compression Testing Machine* (CTM) dengan cara meletakkan silinder beton tegak lurus. Khusus untuk pengujian kuat tekan, sebelum dilakukan pengujian permukaan tekan benda uji silinder harus rata agar tegangan terdistribusi secara merata pada penampang benda uji. Dalam hal ini maka benda uji perlu diberi lapisan belerang (*capping*) setebal 1,5 mm sampai 3 mm pada permukaan tekan benda uji silinder. Cara lain dapat juga dilakukan dengan memberi pasta semen. Dari hasil pengujian ini didapat beban maksimum yang mampu ditahan oleh silinder beton sampai silinder beton tersebut hancur. Selanjutnya dicari kuat tekan beton dengan membagi beban maksimum dengan luas permukaan silinder beton. Data dari hasil pengujian kuat tekan beton ini kemudian ditabelkan.

5. ANALISIS DATA

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- Menghitung berat jenis beton untuk benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan cara menimbang massa beton kemudian dibagi volumenya.
- Menghitung kuat tekan beton untuk benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan menggunakan persamaan :

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

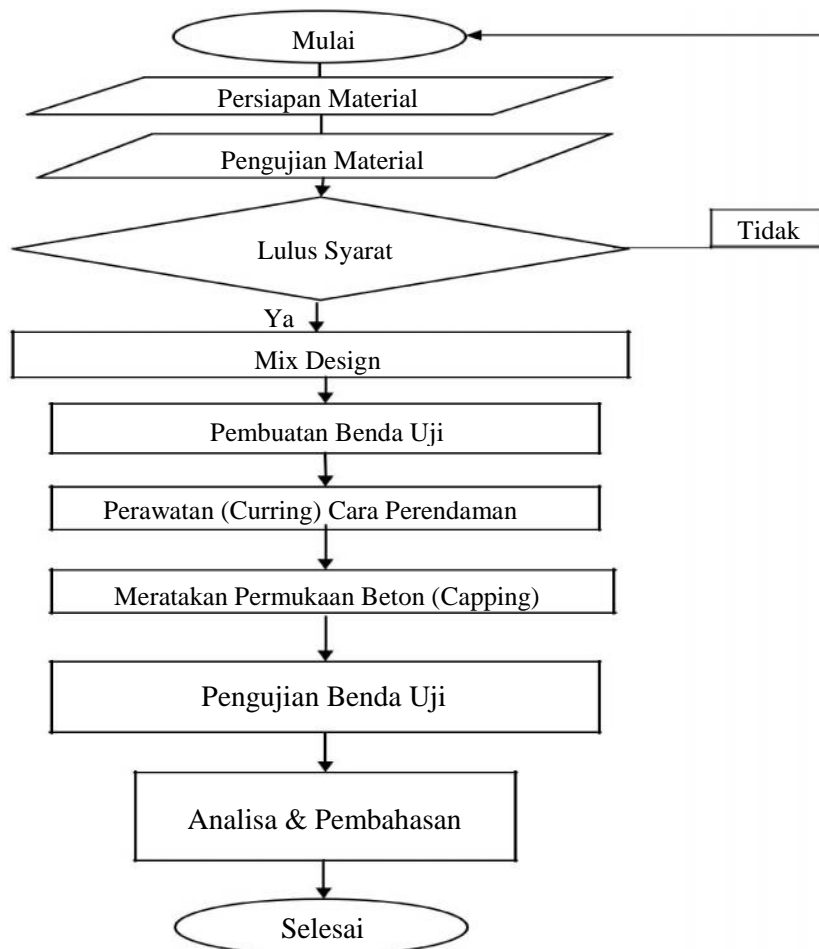
dengan:

f_c = Kuat tekan silinder beton non pasir, Mpa

P_{max} = Beban maksimum yang merusak silinder non pasir, kN.

A_s = Luas tampang beton silinder non pasir, mm².

- Dari hasil pengujian kuat tekan, dibuat grafik antara pengaruh variasi Fly Ash terhadap kuat tekan, kemudian menganalisis



Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian di Laboratorium

6. HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1 Karakteristik Fisik Agregat Kasar Split, Semen Dan Fly Ash

Pengujian fisik berupa berat satuan agregat dan berat jenis agregat yang dilakukan pada bahan agregat kasar dan bahan *fly ash*, sedangkan untuk pengujian semen hanya dilakukan pengujian berat satuan agregat. Besarnya berat satuan agregat adalah perbandingan antara berat dan isi agregat, sedangkan besarnya berat jenis agregat adalah hasil perbandingan antara massa dan volume dari agregat. Berat satuan dan berat jenis agregat ini digunakan untuk mengetahui jumlah agregat yang diperlukan dalam pembuatan *mix design* yang didasarkan pada perbandingan beratnya.

Agregat kasar split yang digunakan mempunyai berat satuan sebesar 1,6796 gr/cm³ (Tabel 2), sedangkan berat satuan semen yang digunakan sebesar 1,220 gr/cm³ (Tabel 3). Berat satuan *fly ash* yang digunakan sebesar 1,043 gr/cm³ (Tabel 4). Dapat disimpulkan *fly ash* merupakan bahan yang mempunyai berat satuan terkecil dibanding bahan lainnya yang digunakan dalam pembuatan *mix design* beton non-pasir.

Tabel 2. Pemeriksaan Berat Satuan Agregat Kasar Split

No	Uraian	Satuan	Notasi	Hasil Pengukuran	
				A	B
1	Diameter Bejana	cm		21	21
2	Tinggi Bejana	cm		4,5	4,5
3	Berat Bejana	gr	A	281	281
4	Volume Bejana	cm ³	B	1557,833	1557,833
5	Berat agregat dan Bejana	gr	C	2980	2815
6	Berat agregat dalam Bejana	gr	D=(C-A)	2699	2534
7	Berat Satuan (Shoveled)	gr/cm ³	D/B	1,733	1,627
	Rata-rata berat satuan				1,6796

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Berat Satuan Semen

No	Uraian	Satuan	Notasi	Hasil Pengukuran	
				A	B
1	Diameter Bejana	cm		21	21
2	Tinggi Bejana	cm		4,5	4,5
3	Berat Bejana	gr	A	281	281
4	Volume Bejana	cm ³	B	1557,833	1557,833
5	Berat Semen dan Bejana	gr	C	2182	2182
6	Berat Semen dalam Bejana	gr	D=(C-A)	1901	1901
7	Berat Satuan (Shoveled)	gr/cm ³	D/B	1,220	1,220
	Rata-rata berat satuan			1,220	

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Berat Satuan Fly Ash

No.	Uraian	Satuan	Notasi	Hasil Pengukuran	
				A	B
1	Diameter Bejana	cm		21	21
2	Tinggi Bejana	cm		4,5	4,5
3	Berat Bejana	gr	A	281	281
4	Volume Bejana	cm ³	B	1557,833	1557,833
5	Berat agregat dan Bejana	gr	C	1928	1885
6	Berat agregat dalam Bejana	gr	D=(C-A)	1647	1604
7	Berat Satuan (Shoveled)	gr/cm ³	D/B	1,057	1,030
	Rata-rata berat satuan			1,043	

Sumber : Hasil Analisis

6.2 Karakteristik Kimia Fly Ash Pltu Tanjung Jati Jepara

Komponen utama penyusun suatu material mempengaruhi sifat dari material itu sendiri, seperti halnya pada *fly ash*. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini, didominasi oleh unsur silikat yaitu sebesar 51 % dan diikuti oleh unsur aluminium sebesar 25,5 %. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Umardani dan Sudrajat (2007); serta Widyaningsih et al (2011) bahwa salah satu unsur terbanyak yang menyusun *fly ash* berupa silikat. Hasil berbeda diperoleh pada penelitian Utami (2018) yang melaporkan bahwa penyusun dominan *fly ash* berupa unsur besi. Lebih lanjut Utami (2018) menyampaikan perbedaan komposisi *fly ash* disebabkan oleh perbedaan jenis batubara yang digunakan.

Berdasarkan jenis batubaranya, *fly ash* dibedakan menjadi kelas C, kelas F dan Kelas N (natural). Kelas F dan kelas C merupakan hasil residu pembangkit listrik dengan bahan bakar batu bara (Haryanto et al, 2008). Perbedaan antara kelas F dan kelas C terletak pada perbedaan kandungan kapur yang menyusunnya. Secara umum *fly ash* kelas F memiliki kadar kapur yang lebih rendah biasanya kurang dari 15% dan memiliki kandungan oksida silikat (SiO₂), Al₂O₃, dan Fe₂O₃ yang lebih besar (min. 70%) dibandingkan dengan *fly ash* kelas C. *Fly ash* kelas C memiliki kandungan kapur yang lebih besar, biasanya lebih besar dari 15% bahkan sampai 30%. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam kelas F dengan total SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ sebesar 87,4 %.

7. HASIL KUAT TEKAN BETON NON-PASIR

Pengujian kuat tekan beton non pasir dilakukan dalam interval 3 waktu yaitu beton pada umur 7 hari, umur 14 hari dan umur 28 hari untuk masing-masing variasi pengujian. Hasil uji kuat tekan beton non pasir untuk umur 7, 14, dan 28 hari disajikan pada Tabel 5 sampai Tabel 7 Berikut

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan Pengaruh *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton Non-Pasir Umur 7 Hari

No	Variasi	Kode	Luas Penampang		Berat Kg	Beban Maksimal		Kuat Tekan	
			cm ²	mm ²		Kg	N	(kg/cm ²)	Mpa (N/mm ²)
1	0	A1	176,63	17662,5	9,305	9000	88290	50,955	4,999
2		A2	176,63	17662,5	8,910	1800	17658	10,191	1,000
3		A3	176,63	17662,5	9,275	8900	87309	50,389	4,943
4		A4	176,63	17662,5	9,300	6500	63765	36,801	3,610
5		A5	176,63	17662,5	8,620	2400	23544	13,588	1,333
Rata-rata								32,385	3,177
6	Substitusi 10 %	B1	176,63	17662,5	8,915	5600	54936	31,706	3,110
7		B2	176,63	17662,5	9,260	7800	76518	44,161	4,332
8		B3	176,63	17662,5	9,615	9600	94176	54,352	5,332
9		B4	176,63	17662,5	9,530	6800	66708	38,500	3,777
10		B5	176,63	17662,5	9,125	6000	58860	33,970	3,332
Rata-rata								40,538	3,977
11	Substitusi 20 %	C1	176,63	17662,5	8,955	3800	37278	21,515	2,111
12		C2	176,63	17662,5	9,200	5000	49050	28,309	2,777

13	C3	176,63	17662,5	9,430	7000	68670	39,632	3,888
14	C4	176,63	17662,5	9,345	6900	67689	39,066	3,832
15	C5	176,63	17662,5	9,345	6500	63765	36,801	3,610
Rata-rata							33,064	3,244
16	D1	176,63	17662,5	9,425	5500	53955	31,139	3,055
17	D2	176,63	17662,5	9,050	5200	51012	29,441	2,888
18	D3	176,63	17662,5	8,695	4000	39240	22,647	2,222
19	D4	176,63	17662,5	9,395	5800	56898	32,838	3,221
20	D5	176,63	17662,5	9,420	6000	58860	33,970	3,332
Rata-rata							30,007	2,944
21	E1	176,63	17662,5	9,580	7500	73575	42,463	4,166
22	E2	176,63	17662,5	9,295	7400	72594	41,897	4,110
23	E3	176,63	17662,5	8,905	6000	58860	33,970	3,332
24	E4	176,63	17662,5	9,810	5800	56898	32,838	3,221
25	E5	176,63	17662,5	9,590	12000	117720	67,941	6,665
Rata-rata							43,822	4,299

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan Pengaruh *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton Non-Pasir Umur 14 Hari

No	Variasi	Kode	Luas Penampang		Berat Kg	Beban Maksimal		Kuat Tekan	
			cm ²	mm ²		Kg	N	(kg/cm ²)	Mpa (N/mm ²)
1	0	A1	176,63	17662,5	9,100	6000	58860	33,970	3,332
2		A2	176,63	17662,5	9,455	6500	63765	36,801	3,610
3		A3	176,63	17662,5	9,230	4800	47088	27,176	2,666
4		A4	176,63	17662,5	9,205	7400	72594	41,897	4,110
5		A5	176,63	17662,5	8,935	5000	49050	28,309	2,777
Rata-rata							33,631	3,299	
6	Subtitusi 10 %	B1	176,63	17662,5	9,340	8600	84366	48,691	4,777
7		B2	176,63	17662,5	9,745	9400	92214	53,220	5,221
8		B3	176,63	17662,5	9,010	5200	51012	29,441	2,888
9		B4	176,63	17662,5	8,990	5000	49050	28,309	2,777
10		B5	176,63	17662,5	9,755	7800	76518	44,161	4,332
Rata-rata							40,764	3,999	
11	Subtitusi 20 %	C1	176,63	17662,5	9,150	6400	62784	36,235	3,555
12		C2	176,63	17662,5	9,185	8700	85347	49,257	4,832
13		C3	176,63	17662,5	9,195	6000	58860	33,970	3,332
14		C4	176,63	17662,5	9,175	7000	68670	39,632	3,888
15		C5	176,63	17662,5	9,270	7200	70632	40,764	3,999
Rata-rata							39,972	3,921	

16	Subtitusi 30 %	D1	176,63	17662,5	9,505	4800	47088	27,176	2,666
17		D2	176,63	17662,5	9,290	9600	94176	54,352	5,332
18		D3	176,63	17662,5	9,340	8000	78480	45,294	4,443
19		D4	176,63	17662,5	9,260	6000	58860	33,970	3,332
20		D5	176,63	17662,5	9,300	9000	88290	50,955	4,999
								42,350	4,154
21	Penambahan 10 %	E1	176,63	17662,5	9,260	11200	109872	63,411	6,221
22		E2	176,63	17662,5	9,310	9200	90252	52,088	5,110
23		E3	176,63	17662,5	9,005	8000	78480	45,294	4,443
24		E4	176,63	17662,5	8,920	9000	88290	50,955	4,999
25		E5	176,63	17662,5	9,260	10400	102024	58,882	5,776
Rata-rata								54,126	5,310

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 7. Hasil Uji Kuat Tekan Pengaruh *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton Non-Pasir Umur 28 Hari

No	Variasi	Kode	Luas Penampang		Berat Kg	Beban Maksimal		Kuat Tekan	
			cm ²	mm ²		Kg	N	(kg/cm ²)	Mpa (N/mm ²)
1	0	A1	176,63	17662,5	9,040	4600	45126	26,044	2,555
2		A2	176,63	17662,5	9,185	9000	88290	50,955	4,999
3		A3	176,63	17662,5	9,000	8000	78480	45,294	4,443
4		A4	176,63	17662,5	8,805	5000	49050	28,309	2,777
5		A5	176,63	17662,5	9,330	9200	90252	52,088	5,110
Rata-rata								40,538	3,977
6	Subtitusi 10 %	B1	176,63	17662,5	9,555	8500	83385	48,125	4,721
7		B2	176,63	17662,5	9,350	5500	53955	31,139	3,055
8		B3	176,63	17662,5	9,615	8000	78480	45,294	4,443
9		B4	176,63	17662,5	9,785	11000	107910	62,279	6,110
10		B5	176,63	17662,5	9,165	7000	68670	39,632	3,888
Rata-rata								45,294	4,443
11	Subtitusi 20 %	C1	176,63	17662,5	9,480	8000	78480	45,294	4,443
12		C2	176,63	17662,5	9,015	6500	63765	36,801	3,610
13		C3	176,63	17662,5	9,210	10000	98100	56,617	5,554
14		C4	176,63	17662,5	9,870	14200	139302	80,396	7,887
15		C5	176,63	17662,5	9,865	13800	135378	78,132	7,665
Rata-rata								59,448	5,832
16	Subtitusi 30 %	D1	176,63	17662,5	9,335	9200	90252	52,088	5,110
17		D2	176,63	17662,5	9,460	9500	93195	53,786	5,276
18		D3	176,63	17662,5	9,245	10000	98100	56,617	5,554
19		D4	176,63	17662,5	9,650	10800	105948	61,146	5,998

20	D5	176,63	17662,5	9,725	8000	78480	45,294	4,443	
Rata-rata							53,786	5,276	
21	E1	176,63	17662,5	9,145	10000	98100	56,617	5,554	
22	E2	176,63	17662,5	9,965	12000	117720	67,941	6,665	
23	Penambahan 10 %	E3	176,63	17662,5	9,815	11200	109872	63,411	6,221
24		E4	176,63	17662,5	9,210	11000	107910	62,279	6,110
25		E5	176,63	17662,5	9,895	10800	105948	61,146	5,998
Rata-rata							62,279	6,110	

Sumber : Analisa Data

Tabel 8 menunjukkan persentase peningkatan kuat tekan beton terhadap umur beton. Pada variasi substitusi *fly ash* 0%, 10%, 30% dan penambahan *fly ash* 10%, proses peningkatan kuat tekan beton mencapai puncaknya pada umur 14 hari, setelah 14 hari peningkatan kuat tekan beton menurun. Hal ini dapat diamati dari penurunan persentase peningkatan kuat tekan beton pada umur 28 hari. Sedangkan pada variasi substitusi *fly ash* 20%, proses peningkatan kuat tekan beton terus meningkat hingga umur 28 hari. Hal ini dapat diamati dari persentase peningkatan yang masih bertambah pada umur 28 hari.

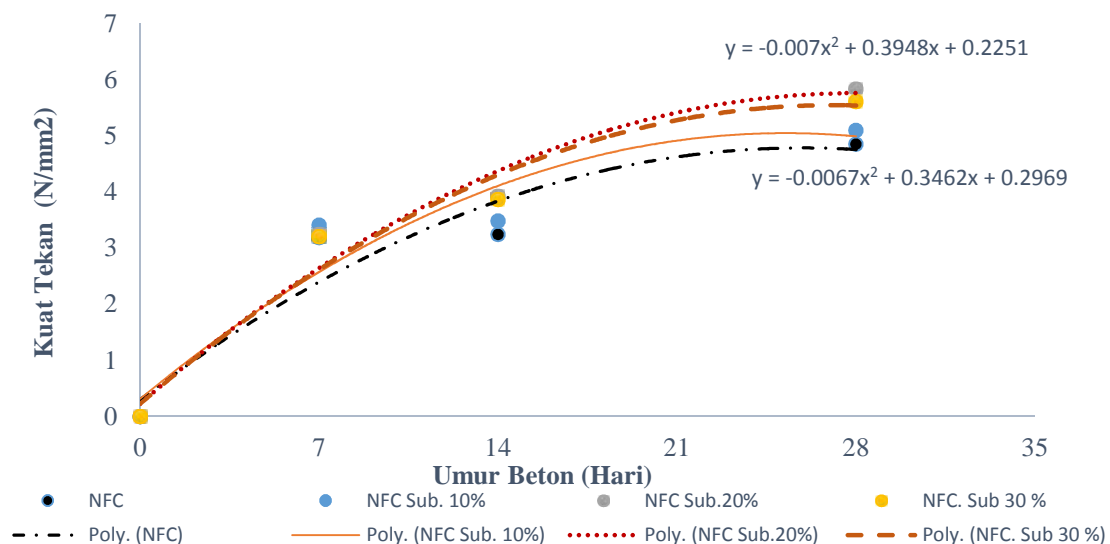
Proses peningkatan kuat tekan beton ini erat hubungannya dengan reaksi hidrasi yang terjadi. *Fly ash* termasuk kedalam jenis pozzolan, yaitu bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina akan tetapi tidak memiliki sifat mengikat sendiri seperti semen. Ketika *fly ash* digunakan sebagai *add mixture* pada adukan beton, *fly ash* bereaksi dengan senyawa kalsium hidroksida yang merupakan hasil reaksi hidrasi antara semen dengan air. Reaksi antara *fly ash* dengan kalsium hidroksida ini pada suhu kamar kemudian membentuk senyawa kalsium aluminat hidrat atau biasa disebut juga dengan *tobermorite* yang memiliki sifat mengikat seperti semen. Senyawa *tobermorite* inilah yang berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Dengan kata lain, reaksi *fly ash* sangat bergantung pada banyaknya senyawa kalsium hidroksida yang dihasilkan oleh reaksi hidrasi semen. Pada substitusi *fly ash*, semakin besar volume semen yang digantikan dengan *fly ash* maka senyawa kalsium hidroksida yang dihasilkan juga akan berkurang. Hal ini mengakibatkan adanya batasan maksimal jumlah semen yang dapat digantikan dengan *fly ash* agar reaksi yang terjadi tetap seimbang. Dalam penelitian ini didapatkan substitusi *fly ash* 20% adalah formulasi yang paling optimal dikarenakan pada substitusi *fly ash* 30% reaksi *fly ash* sudah tidak lagi optimal. Hal ini dapat diamati dari penurunan persentase peningkatan kuat tekan pada umur 14 sampai 28 hari yang terjadi pada substitusi *fly ash* 30%.

Tabel 8. Hasil Pengujian Persentase peningkatan kuat tekan beton terhadap umur

No	Variasi	Kenaikan kuat tekan beton terhadap umur (%)	
		7-14 hari	14-28 hari
1	Substitusi <i>fly ash</i> 0%	15,96	8,54
2	Substitusi <i>fly ash</i> 10%	19,58	18,53
3	Substitusi <i>fly ash</i> 20%	20,89	48,72
4	Substitusi <i>fly ash</i> 30%	29,71	27,00
5	Penambahan <i>fly ash</i> 10%	23,51	15,06

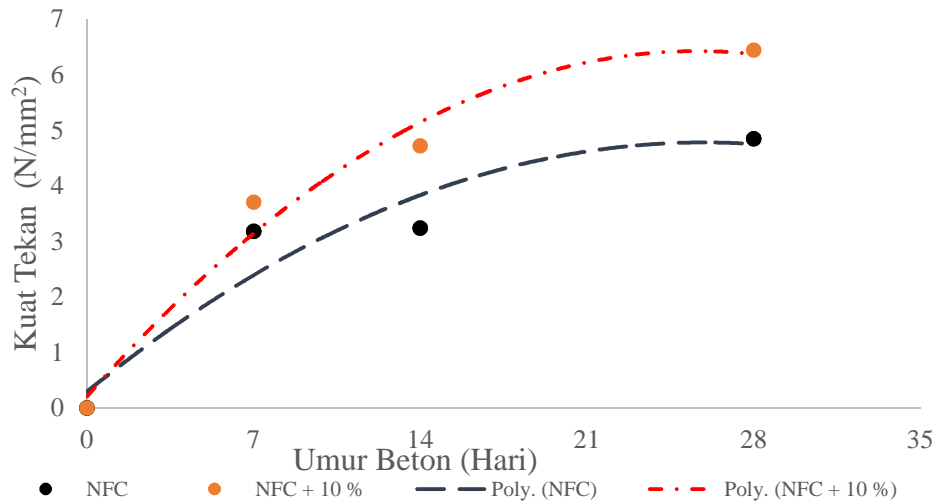
Sumber : Analisa Data

Gambar 2 menunjukkan grafik hubungan umur dan kuat tekan beton non-pasir normal dibanding beton non-pasir substitusi *Fly Ash*. Kuat tekan beton non-pasir normal pada umur 28 hari sebesar 4,851 N/mm², kuat tekan beton non-pasir substitusi *Fly Ash* 10 % pada umur 28 hari naik 11,72 % dari kuat tekan beton non-pasir normal menjadi sebesar 5,091 N/mm², kuat tekan beton non-pasir substitusi *Fly Ash* 20% pada umur 28 hari naik 46,64 % dari kuat tekan beton non-pasir normal menjadi sebesar 5,832 N/mm², dan kuat tekan beton non-pasir substitusi *Fly Ash* 30 % pada umur 28 hari naik 32,66 % dari kuat tekan beton non-pasir normal menjadi sebesar 5,610 N/mm². Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa substitusi *fly ash* dapat menambah kuat tekan beton non-pasir. Fenomena ini disebabkan oleh reaksi antara kalsium hidroksida hasil reaksi semen dan air dengan *fly ash* yang membentuk senyawa *tobermorite* yang merupakan komponen utama penyumbang kekuatan beton. Peningkatan kuat tekan optimal diperoleh dari substitusi *fly ash* 20%. Hal ini dikarenakan pada substitusi *fly ash* 30% jumlah senyawa kalsium hidroksida yang dihasilkan oleh reaksi hidrasi semen tidak lagi dapat mencukupi jumlah *fly ash* yang ada.



Gambar 2. Grafik Hubungan umur dan kuat tekan beton non-pasir Normal dibanding beton non-pasir substitusi *Fly Ash*

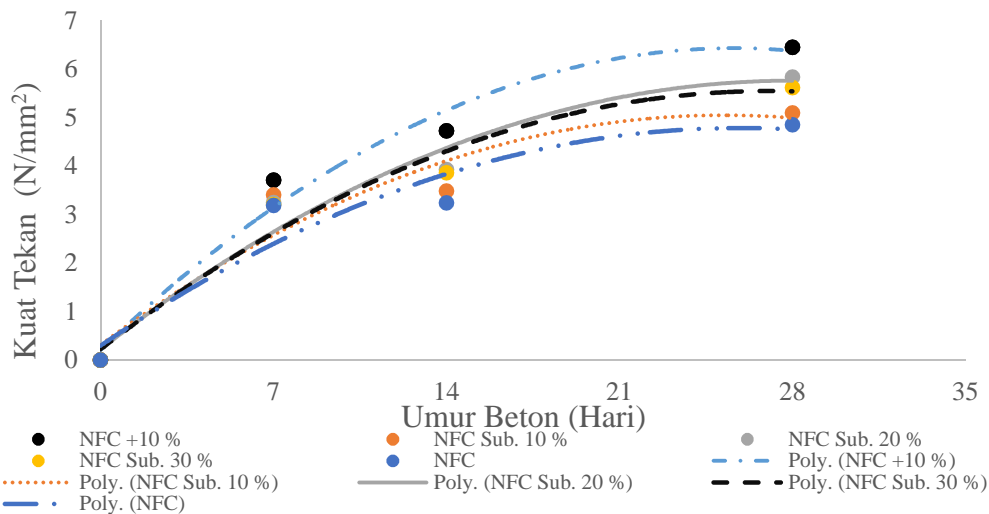
Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara kuat tekan beton non-pasir normal dengan beton non-pasir penambahan *Fly Ash*. Kuat tekan beton non-pasir pada umur beton 28 hari dengan penambahan *Fly Ash* sebanyak 10% dapat menaikkan kuat tekan beton non-pasir sebesar 53,63 % dari kuat tekan beton non-pasir normal 4,851 N/mm² menjadi sebesar 6,443 N/mm². Penambahan *Fly Ash* terhadap beton non-pasir akan menambah kuat tekan karena jumlah semen pada penambahan *fly ash* tidak dikurangi. Adapun keberadaan variasi penambahan *fly ash* pada penelitian ini adalah sebagai pembandingan untuk mengetahui efisiensi substitusi *fly ash* dalam hal jumlah kebutuhan material yang berkaitan erat dengan biaya yang dibutuhkan



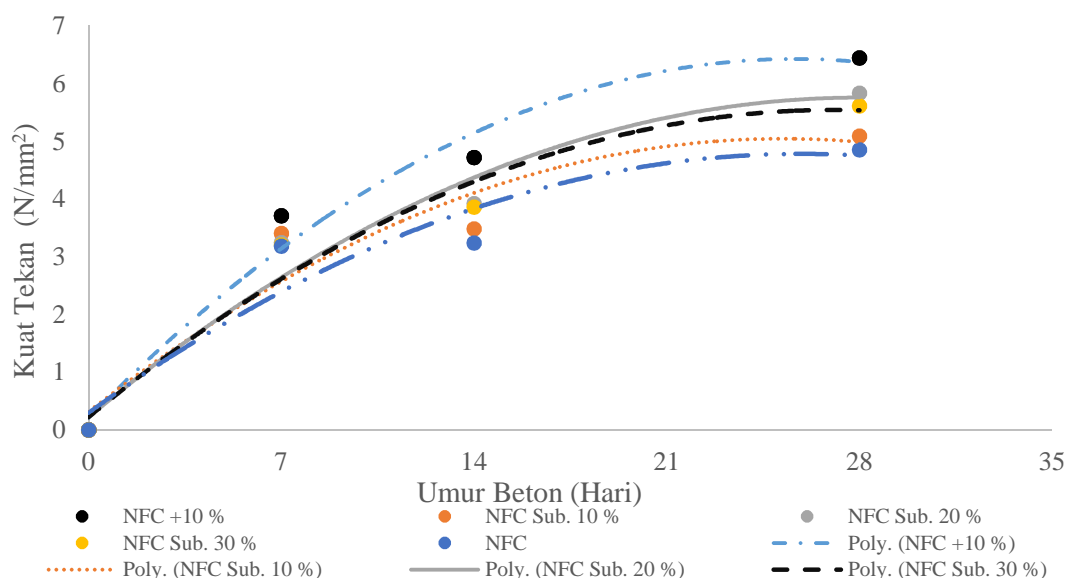
Gambar 3. Grafik Hubungan kuat tekan antara beton non-pasir Normal dengan beton non-pasir Penambahan *Fly Ash*

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara umur dan kuat tekan beton non-pasir substitusi *Fly Ash* dibanding penambahan *Fly Ash*. Perlakuan substitusi dan penambahan *Fly Ash* pada beton non-pasir dapat meningkatkan kuat tekan beton non-pasir, dapat dilihat perlakuan substitusi paling optimum pada substitusi *Fly Ash* 20% sebesar 5,832 N/mm², dan nilai kuat tekan terbesar pada perlakuan penambahan sebesar 6,443 N/mm². Selisih kuat tekan beton non-pasir antara substitusi *fly ash* 20% dengan penambahan *fly ash* 10% adalah sebesar 4,55%.

Selisih kuat tekan yang relatif kecil ini dapat terjadi karena kadar kalsium hidroksida yang dihasilkan oleh reaksi hidrasi pada substitusi *fly ash* 20% seimbang dengan jumlah *fly ash* yang ada. Sedangkan pada penambahan *fly ash* 10% kadar kalsium hidroksida yang dihasilkan terlampaui banyak dikarenakan tidak adanya pengurangan jumlah semen, padahal jumlah *fly ash* yang tersedia hanya 10% dari berat semen. Hal ini menyebabkan ketidakseimbangan antara jumlah *fly ash* yang ada dengan jumlah kalsium hidroksida yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen, yang kemudian mengakibatkan tidak maksimalnya peningkatan kuat tekan beton pada penambahan *fly ash* 10%.



Grafik 4. Hubungan umur dan kuat tekan beton non-pasir substitusi *Fly Ash* dibanding penambahan *Fly Ash*



Gambar 5. Grafik Hubungan umur dan kuat tekan beton non-pasir substitusi *Fly Ash* dibanding penambahan *Fly Ash*

Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara umur dan kuat tekan beton non-pasir substitusi *Fly Ash* dibanding penambahan *Fly Ash*. Perlakuan substitusi dan penambahan *Fly Ash* pada beton non-pasir dapat meningkatkan kuat tekan beton non-pasir, dapat dilihat perlakuan substitusi paling optimum pada substitusi *Fly Ash* 20 % sebesar 5,832 N/mm², dan nilai kuat tekan terbesar pada perlakuan penambahan sebesar 6,443 N/mm². Selisih kuat tekan beton non-pasir antara substitusi *fly ash* 20% dengan penambahan *fly ash* 10% adalah sebesar 4,55 %.

Selisih kuat tekan yang relatif kecil ini dapat terjadi karena kadar kalsium hidroksida yang dihasilkan oleh reaksi hidrasi pada substitusi *fly ash* 20% seimbang dengan jumlah *fly ash* yang ada. Sedangkan pada penambahan *fly ash* 10% kadar kalsium hidroksida yang dihasilkan terlampau banyak dikarenakan tidak adanya pengurangan jumlah semen, padahal jumlah *fly ash* yang tersedia hanya 10% dari berat semen. Hal ini menyebabkan ketidakseimbangan antara jumlah *fly ash* yang ada dengan jumlah kalsium hidroksida yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen, yang kemudian mengakibatkan tidak maksimalnya peningkatan kuat tekan beton pada penambahan *fly ash* 10%.

8. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa substitusi dan penambahan *fly ash* meningkatkan kuat tekan beton non-pasir, akan tetapi belum dapat mencapai kuat tekan yang direncanakan yaitu $f'c = 12$ Mpa.
2. Presentase formulasi yang ideal dicapai pada substitusi *fly ash* 20%.
3. Berdasarkan hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari, beton non-pasir dengan penambahan *fly ash* 10% mencapai kuat tekan 4,55% lebih tinggi dari substitusi *fly ash* 20%. Selisih kuat tekan kedua variasi tersebut tidak terlalu signifikan, dengan demikian substitusi *fly ash* 20% lebih efisien.
4. Berdasarkan hasil uji kuat tekan, semakin tinggi berat benda uji semakin tinggi pula kuat tekannya. Hal ini dikarenakan semakin tinggi berat benda uji, semakin tinggi pula kepadatannya.

REFERENSI

- F.S. Fulton, 1986, *Fulton's Concrete Technology*.
- Haryanto, Y., G.H Sudibyoy, Fatkhurrozak. 2008. *Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Bahan Tambah Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Bata Beton (Paving Block)*. Dinamika Rekayasa volume 4 (2); pp 65-76.
- Kardiyono Tjokrodinuljo, 1991, *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- L.J Murdock, K.M Brook dan Hindarko, 1991, *Bahan dan Praktek Beton Edisi Keempat*, Erlangga, Jakarta.
- Mixed Wastes*, CRC Press, Boca Raton: CRC Press.
- Purwono, NAS dan Triyantoro, 1998, Tugas Akhir, “Pengaruh Bentuk Agregat Terhadap Kuat Desak Beton Non Pasir”, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Purwono, NAS, 2012, “Pengaruh Bentuk Agregat Terhadap Kuat Desak Beton Non Pasir” Jurnal Teodolita, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto.
- Spence, 2005, *Stabilization and Solidification of Hazardous*
- Umardani, Y dan E. Sudrajat. 2007. *Analisa Penggunaan Fly Ash sebagai Material Dasar Pengganti Cetakan Pasir pada pengecoran Besi Cor Ditinjau dari Komposisi campuran cetakan*.
- Utami, S.W. 2018. *Karakteristik Kimiawi Fly Ash Batu Bara dan Potensi Pemanfaatannya Sebagai Pupuk Organik*. Agrotek volume 12 (2): pp 108-112.
- Wicaksono, A.C, dan Utomo, W.W, 2019, Tugas Akhir, “Pengaruh Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton Non-Pasir”, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma, Purwokerto.
- Widyaningsih, S. E. Setyawan dan T Setyaningtyas. 2011. *Karakterisasi Abu Terbang PLTU Cilacap Untuk Menurunkan Kesadahan Air Di Desa Ajibarang Kabupaten Banyumas*. Molekul volume 6 no 1;35-39.