

KAJIAN PENGGUNAAN *FLY ASH* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN PADA BETON STRUKTURAL

Teguh Andryanto¹, Atep Maskur², Uu Saepudin³,
Taufik Martha⁴

¹Mahasiswa (Teknik Sipil, Universitas Galuh Ciamis)

^{2,3,4}Dosen (Teknik Sipil, Universitas Galuh Ciamis)

¹Korespondensi :

ABSTRACT

This study aims to find out the effect of the use of fly ash as a substitute for part of cement on the compressive strength and bending strength of structural concrete, as well as to find out the optimal composition of the use of fly ash so that maximum structural concrete strength is produced. The method used in this study is an experimental method. The study was designed with 5 treatments for concrete compressive strength test and 5 treatment for concrete bending strength test, each repeated 3 times. The treatment tested by beton with the use of fly ash as a substitute for cement as a substitute for cement 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. The results showed that the use of fly ash as a substitute for part of cement affects the compressive strength and bending strength of structural concrete, where there is an increase in compressive strength and bending strength in the use of fly ash 5% by producing a compressive strength of 5% 31.23 Mpa and bending strength of 4.03 Mpa, there was also a decrease in compressive strength and bending strength in the use of fly ash of 10%, 15% and 20% by producing compressive strength of 29.74 Mpa, 28.15 Mpa and 26.78 Mpa, as well as producing concrete bending strength of 3.49 Mpa, 3.21 Mpa and 2.94 Mpa. The use of an optimum fly ash of 1.835% results in a maximum concrete compressive strength of 30.75 Mpa and a maximum concrete bending strength of 3.89 Mpa.

Keywords : Compressive Strength, Bending Strength, Structural Concrete, Fly Ash

I. PENDAHULUAN

Pengetahuan tentang ilmu bahan dalam dunia konstruksi mengalami kemajuan yang pesat. Hal ini ditandai dengan makin banyaknya penggunaan bahan, baik yang baru ditemukan maupun yang merupakan pengembangan dari yang sudah ada. Berbagai bahan yang ada, beton paling banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan seperti mudah dibentuk sesuai kebutuhan, perawatannya mudah, kuat tekan yang tinggi dan masih banyak lagi kelebihan lainnya.

Salah satu jenis material bahan bangunan yang paling banyak digunakan untuk struktur dalam bidang teknik sipil adalah beton. Seiring meningkatnya proyek pembangunan pada saat ini, maka semakin meningkat pula kebutuhan akan penggunaan beton, sehingga dalam pelaksanaannya memerlukan keahlian dalam mendesain komposisi campuran beton. Beton merupakan unsur campuran yang terdiri dari semen, agregat dan air. Semen merupakan bahan susun beton yang harganya

cukup mahal bila dibandingkan dengan bahan lainnya, maka perlu dicari alternatif pengganti. Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton yaitu *fly ash*.

Fly ash merupakan limbah yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga tidak menutup kemungkinan akan menimbulkan masalah lingkungan, oleh karena itu perlu upaya pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambah pada beton untuk mengurangi jumlah pemakaian semen pada adukan beton tanpa mengurangi mutu beton (kuat tekan beton) dan untuk menambah kekedapan beton.

Beton merupakan campuran antara semen Portland, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran membentuk masa padat (SK SNIT- 15 – 1990 – 03). Dalam adukan beton, air dan semen membentuk pasta yang disebut pasta semen. Pasta semen ini selain mengisi pori-pori di antara butiran-butiran agregat halus dan

agregat kasar, juga bersifat sebagai perekat atau pengikat dalam proses pengikatan sehingga butiran-butiran agregat saling terikat dengan kuat. Kelebihan dan kekurangan beton (Tjokrodimulyo,1996) adalah sebagai berikut :

- a. Harga relatif murah karena menggunakan bahan-bahan lokal, kecuali semen portland yang harus didatangkan dari pabrik atau toko, pada daerah tertentu yang sulit mendapatkan pasir dan kerikil mungkin beton akan mahal.
- b. Mempunyai kuat tekan yang tinggi serta sifat tahan korosi dan pembusukan oleh pengaruh lingkungan (panas dan kelembaban). Kadang-kadang diperoleh beton yang mempunyai kuat tekan yang sama dengan batu alami jika menggunakan bahan penambah kekuatan dan dikerjakan dengan baik.
- c. Beton segar mudah diangkat dan dicetak sesuai keinginan. Untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan cukup dengan membuat cetakan yang dapat dipakai berulang kali sehingga ekonomis.
- d. Jika dikombinasikan dengan baja tulangan maka akan menghasilkan beton yang dapat dipakai untuk struktur berat. Pada kondisi ini baja akan menahan tegangan tarik sedangkan beton akan menahan tegangan yang terjadi akibat pembebanan.
- e. Mudah dalam perawatan, beton segar dapat disempatkan pada beton lama yang rusak atau dapat diisi ke dalam retakan beton tanpa harus menghancurkan bagian yang rusak.
- f. pengecoran pada bagian-bagian bangunan yang sulit dijangkau dengan alat lainnya.
- g. Mempunyai sulfat tahan aus dan tahan terhadap panas sehingga biaya perawatan relatif murah.

Selanjutnya dinyatakan bahwa kekurangan beton antara lain :

- a. Beton mempunyai kuat tarik rendah sehingga mudah rusak, oleh karena itu harus diberi tulangan baja atau kasa.
- b. Beton segar mengerut saat pengeringan dan beton keras mengembang saat basah sehingga dilatasi (*Contraction joint*) perlu dilakukan dengan arah panjang dan lebar

- c. Beton keras menyusut dan mengembang bila terjadi perubahan suhu sehingga perlu dilatasi untuk mencegah terjadinya retakan-retakan pada permukaan atau badan beton.
- d. Beton sulit untuk kedap air, bila diinginkan untuk kedap air secara sempurna harus dikerjakan dengan teliti.
- e. Beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga perlu dihitung dan diteliti dengan seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

Secara umum perencanaan campuran beton yang akan digunakan dalam pelaksanaan konstruksi harus memenuhi syarat (KardiyonoTjokrodimulyo,1996), antara lain :

1. Syarat kekuatan
Kekuatan yang dicapai pada umur yang ditentukan (28 hari) harus memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh perencanaan.
2. Syarat keawetan
Beton yang dihasilkan harus tahan terhadap pengaruh-pengaruh luar yang dapat merusak beton itu sendiri.
3. Syarat kemudahan pelaksanaan
Suatu rencana campuran beton harus memberikan *workability* yang cukup guna pengadukan, pengangkutan, pencetakan dan pemadatan tanpa mengurangi homogenitas beton.
4. Syarat ekonomis
Perencanaan campuran beton harus memberikan proporsi bahan-bahan pembentuk beton yang tepat, supaya tidak menimbulkan berlebihnya pemakaian bahan yang menyebabkan kurang ekonomisnya suatu campuran beton.

Tingkat pemanfaatan *fly ash* dalam produksi semen saat ini masih tergolong amat rendah. Cina memanfaatkan sekitar 15 persen, India kurang dari 5 persen memanfaatkan *fly ash* dalam pembuatan beton (Rony Ardiansyah, 2010). *Fly ash* kalau tidak dimanfaatkan juga bisa menjadi ancaman bagi lingkungan, sehingga pemanfaatan *fly ash*

akan mendatangkan efek ganda pada tindak penyelamatan lingkungan, yaitu penggunaan *fly ash* akan memangkas dampak negatif kalau bahan sisa ini dibuang begitu saja dan sekaligus mengurangi penggunaan semen dalam campuran beton. Berdasarkan uraian di atas, maka perlu suatu kajian penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen pada beton struktural.

Berdasarkan konteks umum fly ash termasuk material yang mempunyai kadar semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolan. Menurut Neville, A. M., Brooks, J. J. (1999), sifat pozzolan adalah sifat yang dimiliki bahan-bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina. Kandungan fly ash menurut Santoso, I., Roy, S. K., et al. (2004) mengandung Silica (SiO₂), Besi Oksida (Fe₂O₃), Aluminium Oksida (Al₂O₃), Kalium Oksida (CaO), Magnesium Oksida (MgO), dan Sulfat (SO₄).

Adapun tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton struktural, serta mengetahui komposisi penggunaan *fly ash* yang optimum sehingga dihasilkan kekuatan beton struktural yang maksimum.

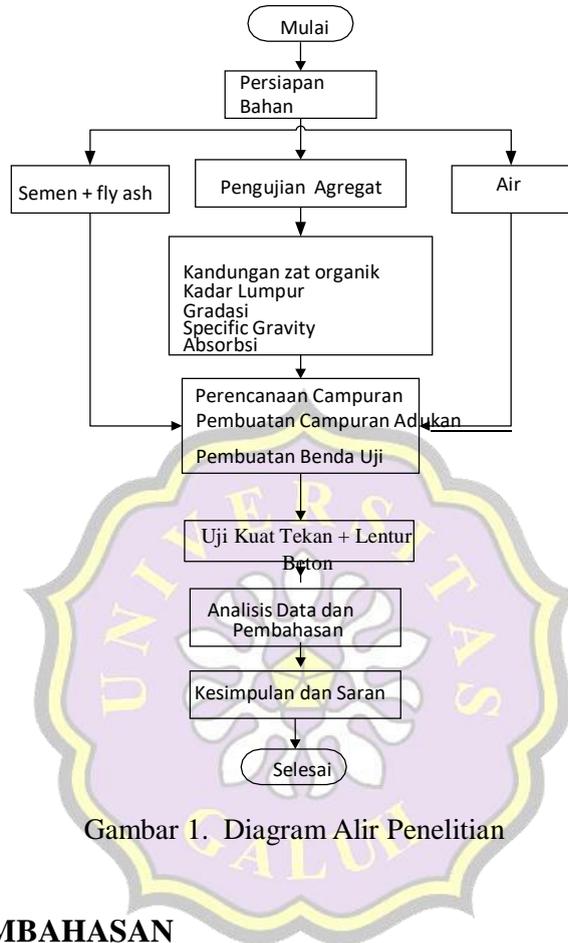
II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian di rancang dengan 5 perlakuan untuk uji kuat tekan beton dan 5 perlakuan untuk uji kuat lentur beton, masing – masing di ulang 3 kali. Perlakuan yang diujicobakan antara lain beton dengan penambahan Fly Ash 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen potland tipe I (umum), agregat halus pasir alam, agregat kasar batu pecah (split), air bersih dan fly ash. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Ayakan dan mesin penggetar ayakan
Ayakan baja dan penggetar yang digunakan dengan bentuk lubang ayakan bujur sangkar dengan ukuran lubang ayakan yang tersedia adalah 75 mm, 50 mm, 38.1 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 3.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.85 mm, 0.30 mm, 0.15 mm, dan pan.
2. Timbangan
 - a. Neraca dengan kapasitas 5 kg, ketelitian sampai 0,10 gram dan digunakan untuk mengukur berat material yang berada dibawah kapasitasnya.
 - b. Timbangan dengan kapasitas 60 kg dengan ketelitian 0,1 kilogram.
3. Oven
Untuk keperluan pengeringan agregat maupun benda uji digunakan oven listrik dengan temperatur maksimum 220°C dan daya listrik 1500 W.
4. *Conical Mould*
Conical mould dengan ukuran sisi atas Ø 3,8 cm, sisi bawah Ø 8,9 cm dan tinggi 7,6 cm lengkap dengan penumbuknya. Digunakan untuk mengukur keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*) dari agregat halus (pasir).
5. Kerucut Abram
Kerucut abram terbuat dari baja dengan diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm, dan tinggi 30 cm, digunakan untuk mengukur nilai slump adukan beton.
6. Cetakan benda uji
Digunakan untuk mencetak benda uji. Bentuk cetakan untuk pembuatan benda uji yaitu kubus dan balok.
7. Alat penggetar (*vibrator*)
8. Moln
9. Satu set alat uji kuat tekan beton
10. Satu set alat uji kuat lentur beton

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini seperti disajikan pada diagram alir di bawah ini :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan rencana campuran beton menggunakan standar Dinas Pekerjaan Umum (SK SNI T-15-1990-03) seperti ditunjukkan pada Tabel di bawah ini :

Tabel 1. Perencanaan Campuran Beton Normal K 250

| No. | Uraian | Tabel/Grafik/Perhitungan | Nilai |
|-----|--|--------------------------|--|
| 1 | Kuat Tekan yang disyaratkan | Ditetapkan | 25 N/mm ² pada 28 hari |
| 2 | Deviasi Standar | Ayat 3.3.1 Tabel 1 | 7 N/mm ² atau tanpa data |
| 3 | Nilai Tambah | | (k = 1,64) 1,64 x 7 = 11,48 N/mm ² |
| 4 | Kuat Tekan rata-rata yang ditargetkan | Ayat 3.3.2 | 25 + 11,48 = 36,48 N/mm ² |
| 5 | Jenis Semen | Ditetapkan | Tipe I |
| 6 | Jenis agregat Kasar Jenis agregat Halus | | Batu Pecah Pasir Alam |

| | | | |
|----|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 7 | Faktor Air semen bebas | Tabel 2 grafik 1 / 2 | 0,52 |
| 8 | Faktor Air semen maksimum | Ditetapkan ayat 3.3.2 | 0,6 |
| 9 | Nilai Slump | Ditetapkan ayat 3.3.3 | 6 – 10 mm |
| 10 | Ukuran agregat maksimum | Ditetapkan ayat 3.3.4 | 20 mm |
| 11 | Kadar air bebas | Tabel 6 ayat 3.3.5 | 225 kg/m ³ |
| 12 | Jumlah semen | 11 : 8 atau 7 | 432,7 kg/m ³ |
| 13 | Jumlah semen Maksimum | Ditetapkan | 432,7 kg/m ³ |
| 14 | Jumlah semen Minimum | Tabel 3.4.5 | 325 kg/m ³ |
| 15 | Faktor air semen yang disesuaikan | | 0,52 |
| 16 | Susunan butir agregat halus | Grafik 3 s/d 6 | Daerah gradasi susunan butir I |
| 17 | Persen agregat halus | Grafik 10 s/d 12 | 40 % Diketahui/dianggap |
| 18 | Berat jenis relative agregat | | 2,65 kg/m ³ |
| 19 | Berat jenis beton | Grafik 13 | 2350 kg/m ³ |
| 20 | Kadar agregat gabungan | 19 – (12 + 11) | 1692 kg/m ³ |
| 21 | Kadar agregat halus | 17 x 20 | 677 kg/m ³ |
| 22 | Kadar agregat kasar | 20-21 | 1015 kg/m ³ |

Dari perencanaan di atas diperoleh kebutuhan material dalam 1 m³ yaitu :

1. Semen : 432.7 kg
2. Agregat halus (Pasir) : 677 kg
3. Agregat kasar (Split) : 1015 kg
4. Air : 225 liter

Dari perbandingan bahan di atas dapat ditentukan kebutuhan material benda uji untuk masing-masing variasi campuran seperti ditunjukkan dalam Tabel 2. Kebutuhan material ditentukan setelah terlebih dahulu menghitung volume tiap-tiap benda uji yang berbentuk kubus dan balok. Volume masing-masing benda uji dikalikan dengan jumlah benda uji pada masing-masing variasi campuran sehingga akan diperoleh volume total masing-masing variasi campuran sebesar 0,050625 m³ dikalikan dengan kebutuhan material dalam 1 m³ campuran beton.

Tabel 2. Kebutuhan Material Benda Uji

| Bahan | Variasi Fly Ash | | | | |
|--------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0% | 5% | 10% | 15% | 20% |
| Air (liter) | 11,39 | 11,39 | 11,39 | 11,39 | 11,39 |
| Semen (kg) | 21,90 | 20,81 | 19,71 | 18,61 | 17,52 |
| Pasir (kg) | 34,27 | 34,27 | 34,27 | 34,27 | 34,27 |
| Split (kg) | 51,38 | 51,38 | 51,38 | 51,38 | 51,38 |
| Fly Ash (kg) | 0 | 1,09 | 2,19 | 3,29 | 4,38 |

3.1 Hasil

3.1.1 Hasil Pengujian Slump

Pengujian nilai *slump* menggunakan kerucut *Abrams* dengan ukuran diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan tinggi 30 cm. Nilai *slump* diperlukan untuk mengetahui tingkat *workability* dari campuran beton yang diperlukan untuk memudahkan proses pengadukan, pengangkutan, penuangan, dan pemadatan. Hasil dari pengujian nilai *slump* disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. Nilai *slump* dari berbagai

Variasi fly Ash

| Variasi Fly Ash (%) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Nilai Slump (cm) | 6,8 | 7,4 | 7,5 | 7,8 | 8,0 |

Berdasarkan perencanaan campuran beton nilai *slump* ditetapkan 6-10 cm, maka berdasarkan nilai *slump* di atas seluruhnya memenuhi syarat perencanaan.

3.1.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari dikonversi ke umur 28 hari. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimum yaitu beban pada saat beton hancur ketika menerima beban tersebut (P_{max}). Dari data pengujian kuat tekan beton pada benda uji kubus dengan dimensi 15x15x15cm dapat diperoleh kuat tekan maksimum beton. Perhitungan kuat tekan beton diambil data dari beton normal umur 7 hari sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

$$P_{max} = 445 \text{ kN} = 445000 \text{ N}$$

$$A = P \times L = 150 \times 150 \text{ mm}^2 = 22500 \text{ mm}^2$$

$$f'c = \frac{445000}{22500} = 19,78 \text{ Mpa}$$

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan benda uji kubus dengan dimensi 15x15x15 cm umur 7 hari dikonversi ke umur 28 hari

selengkapnya seperti disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

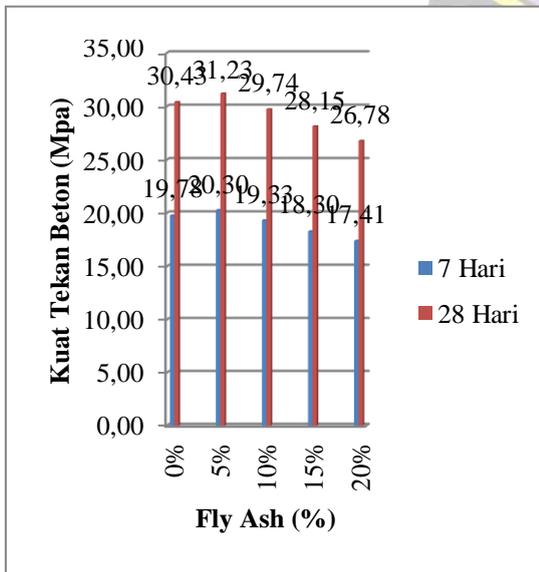
| No | Variasi Fly Ash | A | P | P | Kuat Tekan | f'c Rata-rata |
|----|-----------------|--------------------|------|--------|------------|---------------|
| | | (mm ²) | (kN) | (N) | (MPa) | (MPa) |
| 1 | 0% | 22500 | 445 | 445000 | 19,78 | 19,78 |
| 2 | | 22500 | 450 | 450000 | 20,00 | |
| 3 | | 22500 | 440 | 440000 | 19,56 | |
| 1 | 5% | 22500 | 450 | 450000 | 20,00 | 20,30 |
| 2 | | 22500 | 460 | 460000 | 20,44 | |
| 3 | | 22500 | 460 | 460000 | 20,44 | |
| 1 | 10% | 22500 | 430 | 430000 | 19,11 | 19,33 |
| 2 | | 22500 | 435 | 435000 | 19,33 | |
| 3 | | 22500 | 440 | 440000 | 19,56 | |
| 1 | 15% | 22500 | 415 | 415000 | 18,44 | 18,30 |
| 2 | | 22500 | 400 | 400000 | 17,78 | |
| 3 | | 22500 | 420 | 420000 | 18,67 | |
| 1 | 20% | 22500 | 400 | 400000 | 17,78 | 17,41 |
| 2 | | 22500 | 385 | 385000 | 17,11 | |
| 3 | | 22500 | 390 | 390000 | 17,33 | |

Hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 hari dikonversi ke umur 28 hari. Nilai konversi menggunakan Pedoman Pembetonan Indonesia (PBI, 1971) sebesar 0,65. Hasil perhitungan konversi kuat tekan beton umur 7 hari ke umur 28 hari seperti disajikan pada tabel di bawah ini :

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari di Konversi ke Umur 28 hari

| No | Variasi Fly Ash | Kuat Tekan 7 Hari (MPa) | Nilai Konversi | Kuat Tekan 28 Hari (MPa) | f'c Rata-rata (MPa) |
|----|-----------------|-------------------------|----------------|--------------------------|---------------------|
| | | (1) | (2) | (3)=(1)/(2) | |
| 1 | 0% | 19,78 | 0,65 | 30,43 | 30,43 |
| 2 | | 20,00 | 0,65 | 30,77 | |
| 3 | | 19,56 | 0,65 | 30,09 | |
| 1 | 5% | 20,00 | 0,65 | 30,77 | 31,23 |
| 2 | | 20,44 | 0,65 | 31,45 | |
| 3 | | 20,44 | 0,65 | 31,45 | |
| 1 | 10% | 19,11 | 0,65 | 29,40 | 29,74 |
| 2 | | 19,33 | 0,65 | 29,74 | |
| 3 | | 19,56 | 0,65 | 30,09 | |
| 1 | 15% | 18,44 | 0,65 | 28,38 | 28,15 |
| 2 | | 17,78 | 0,65 | 27,35 | |
| 3 | | 18,67 | 0,65 | 28,72 | |
| 1 | 20% | 17,78 | 0,65 | 27,35 | 26,78 |
| 2 | | 17,11 | 0,65 | 26,32 | |
| 3 | | 17,33 | 0,65 | 26,67 | |

Dari tabel di atas dibuat grafik yang menggambarkan hasil pengujian kuat tekan beton seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan

3.1.3 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan pada saat benda uji berumur 7 hari dengan

menggunakan alat uji kuat lentur untuk mendapatkan kuat lentur maksimum. Dari data pengujian kuat lentur beton pada benda uji balok dengan ukuran 15 x 15 x 60 cm dapat diperoleh kuat lentur maksimum beton. Perhitungan kuat lentur diambil data dari beton normal umur 7 hari sebagai berikut :

$$P_{max} = 19000 \text{ N}$$

$$b = 150 \text{ mm}, d = 150 \text{ mm}, l = 450 \text{ mm}$$

$$f_r = \frac{19000 \times 450}{(150 \times 150^2)} = 2,53 \text{ Mpa}$$

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 7 Hari

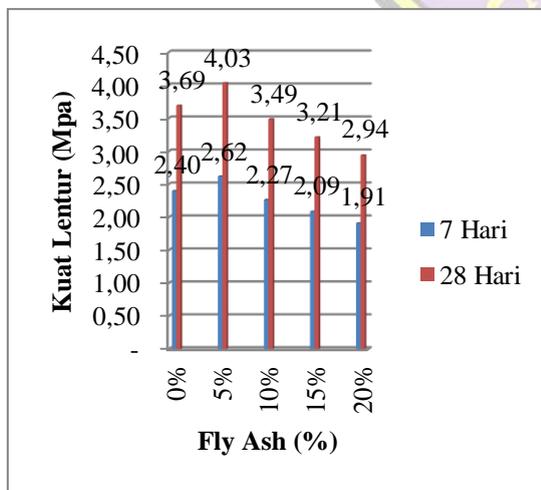
| No | Variasi Fly Ash | b/d | l | P | Kuat Lentur | f _r Rata-rata |
|----|-----------------|------|------|-------|-------------|--------------------------|
| | | (mm) | (mm) | (kN) | (MPa) | (MPa) |
| 1 | 0% | 150 | 450 | 19000 | 2,53 | 2,18 |
| 2 | | 150 | 450 | 17000 | 2,27 | |
| 3 | | 150 | 450 | 18000 | 2,40 | |
| 1 | 5% | 150 | 450 | 20000 | 2,67 | 2,31 |
| 2 | | 150 | 450 | 19000 | 2,53 | |
| 3 | | 150 | 450 | 20000 | 2,67 | |
| 1 | 10% | 150 | 450 | 17000 | 2,27 | 2,53 |
| 2 | | 150 | 450 | 16000 | 2,13 | |
| 3 | | 150 | 450 | 18000 | 2,40 | |
| 1 | 15% | 150 | 450 | 15000 | 2,00 | 2,13 |
| 2 | | 150 | 450 | 16000 | 2,13 | |
| 3 | | 150 | 450 | 16000 | 2,13 | |
| 1 | 20% | 150 | 450 | 14000 | 1,87 | 1,82 |
| 2 | | 150 | 450 | 15000 | 2,00 | |
| 3 | | 150 | 450 | 14000 | 1,87 | |

Hasil pengujian kuat lentur beton (*Modulus of Rupture*) umur 7 hari dikonversi ke umur 28 hari seperti disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Umur 7 Hari di Konversi ke Umur 28 hari

| No | Variasi Fly Ash | Kuat Lentur 7 Hari (MPa) | Nilai Konversi | Kuat Lentur 28 Hari (MPa) | fr Rata-rata (MPa) |
|----|-----------------|--------------------------|----------------|---------------------------|--------------------|
| | | (1) | (2) | (3)=(1)/(2) | |
| 1 | 0% | 2,53 | 0,65 | 3,90 | 3,69 |
| 2 | | 2,27 | 0,65 | 3,49 | |
| 3 | | 2,40 | 0,65 | 3,69 | |
| 1 | 5% | 2,67 | 0,65 | 4,10 | 4,03 |
| 2 | | 2,53 | 0,65 | 3,90 | |
| 3 | | 2,67 | 0,65 | 4,10 | |
| 1 | 10% | 2,27 | 0,65 | 3,49 | 3,49 |
| 2 | | 2,13 | 0,65 | 3,28 | |
| 3 | | 2,40 | 0,65 | 3,69 | |
| 1 | 15% | 2,00 | 0,65 | 3,08 | 3,21 |
| 2 | | 2,13 | 0,65 | 3,28 | |
| 3 | | 2,13 | 0,65 | 3,28 | |
| 1 | 20% | 1,87 | 0,65 | 2,87 | 2,94 |
| 2 | | 2,00 | 0,65 | 3,08 | |
| 3 | | 1,87 | 0,65 | 2,87 | |

Dari tabel di atas dibuat grafik yang menggambarkan hasil pengujian kuat lentur beton seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini :

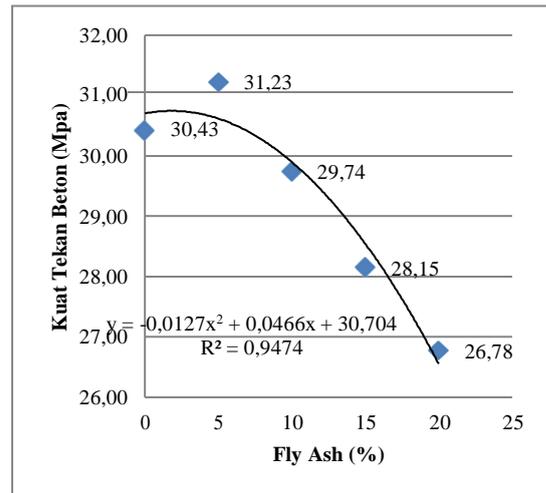


Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur

3.2 Pembahasan

3.2.1 Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Tabel 3 diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan antara variasi fly ash dengan kuat tekan beton seperti terlihat pada gambar di bawah ini :

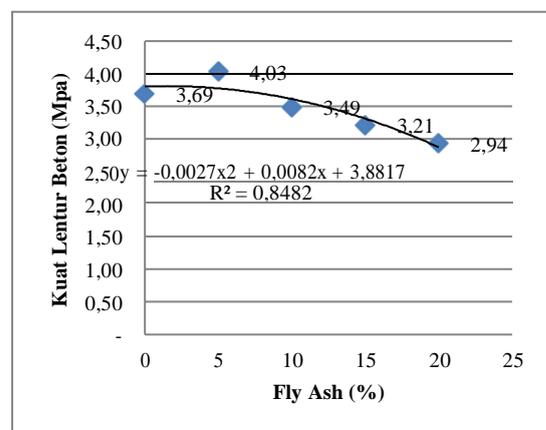


Gambar 4. Grafik Hubungan antara Variasi Fly Ash dengan Kuat Tekan

Dari grafik di atas terlihat pada penggunaan fly ash 5% terjadi peningkatan kuat tekan dengan menghasilkan kuat tekan beton sebesar 31,23 Mpa jika dibandingkan dengan kuat tekan beton normal (penggunaan fly ash 0%) sebesar 30,43 Mpa. Pada penggunaan fly ash 10%, 15% dan 20% terjadi penurunan kuat tekan dengan menghasilkan kuat tekan beton sebesar 29,74 Mpa, 28,15 Mpa dan 26,78 Mpa, bahkan kuat tekan yang dihasilkan lebih kecil dari kuat tekan beton normal (penggunaan fly ash 0%).

3.2.2 Kuat Lentur Beton

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan antara variasi fly ash dengan kuat lentur beton seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Variasi Fly Ash dengan Kuat Lentur

Kuat lentur beton semakin meningkat pada penggunaan fly ash 5% dengan menghasilkan kuat lentur beton sebesar 4,03 Mpa jika dibandingkan dengan kuat lentur beton normal (penggunaan fly ash 0%) sebesar 3,69 Mpa. Pada penggunaan fly ash 10%, 15% dan 20% terjadi penurunan kuat lentur dengan menghasilkan kuat lentur beton sebesar 3,49 Mpa, 3,21 Mpa dan 2,94 Mpa, bahkan kuat lentur yang dihasilkan lebih kecil dari kuat lentur beton normal (penggunaan fly ash 0%). Menurut pendapat Suryawan (2005) kuat lentur (*flexural strength*) tidak boleh kurang dari 45 kg/cm² atau menurut SNI 1991 sebesar 3,78 MPa pada umur 28 hari. Kuat lentur beton tertinggi pada penggunaan fly ash 5% dengan menghasilkan kuat lentur sebesar 4,03 Mpa, ini memenuhi kuat lentur yang disyaratkan SNI 1991 sebesar 3,78 Mpa.

3.2.3 Penambahn Fly ash yang Optimum

Untuk menentukan penggunaan fly ash yang optimum digunakan persamaan regresi hubungan penggunaan fly ash dengan kuat tekan beton. Perhitungan penggunaan fly ash yang optimum sebagai berikut :

$$y = -0,0127x^2 + 0,0466x + 30,704$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,0254x + 0,0466$$

nilai optimum didapat dari x saat $\frac{dy}{dx} = 0$

$$0 = -0,0254x + 0,0466$$

$$x = \frac{0,0466}{0,0254} = 1,835$$

Dari perhitungan di atas diperoleh penggunaan fly ash yang optimum adalah 1,835, maka kuat tekan maksimum dan kuat lentur maksimum adalah :

Kuat tekan maksimum:

$$y = -0,0127(1,835)^2 + 0,0466(1,835) + 30,704$$

$$= -0,043 + 0,086 + 30,704$$

$$= 30,75 \text{ Mpa}$$

Kuat lentur maksimum:

$$y = -0,0027(1,835)^2 + 0,0082(1,835) + 3,8817$$

$$= -0,009 + 0,015 + 3,8817$$

$$= 3,89 \text{ Mpa}$$

Jadi dengan penggunaan fly ash yang optimum 1,835% menghasilkan kuat tekan beton maksimum sebesar 30,75 Mpa dan kuat lentur beton maksimum sebesar 3,89 Mpa.

IV. SIMPULAN

Melalui hasil penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Penggunaan fly ash sebagai pengganti sebagian semen berpengaruh terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton struktural, dimana terjadi kenaikan kuat tekan dan kuat lentur pada penggunaan fly ash 5% dengan menghasilkan kuat tekan sebesar 31,23 Mpa dan kuat lentur sebesar 4,03 Mpa, juga terjadi penurunan kuat tekan dan kuat lentur pada penggunaan fly ash 10%, 15% dan 20 % dengan menghasilkan kuat tekan sebesar 29,74 Mpa, 28,15 Mpa dan 26,78 Mpa, serta menghasilkan kuat lentur beton sebesar 3,49 Mpa, 3,21 Mpa dan 2,94 Mpa.
2. Penggunaan fly ash yang optimum 1,835% menghasilkan kuat tekan beton maksimum sebesar 30,75 Mpa dan kuat lentur beton maksimum sebesar 3,89 Mpa.

DAFTAR PUSTAKA

- Asep Saepuloh. (2018) "Analisis Kekuatan Beton Struktural Terhadap Pengaruh Air Laut Pada Berbagai Variasi Penambahan *Water Reducing*". Teknik Sipil Universitas Galuh Ciamis
- Anonim. (1997). "Struktur Beton". Badan Penerbit Universitas Semarang
- Chu Kia Wang, Charles G Salmon, Binsar Hariandja. (1990). "Desain Beton Bertulang". Jilid I Erlangga edisi ke 4. Jakarta
- Dipohusodo Istimawan. (1996). "Struktur Beton Bertulang". Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Maskur, A. (2021). Analisis Pemanfaatan Sampah Anorganik Dan Abu Sekam Sebagai Bahan Paving Block Terhadap

Uji Kuat Tekan. *Jurnal Ilmu Sipil (JALUSI)*, 3(1), 1-7.

Melinda. (2018). "Tinjauan Karakteristik Beton Bertulang Berserat *Polymeric*". Teknik Sipil Universitas Galuh

Nawi, E.G. (1990). "Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar". P.T. Erecso. Bandung.

Sustika Pratiwi, Hakas Prayuda dan Fadillawaty Saleh. (2016) "Kuat Tekan Beton Serat Menggunakan Variasi *Fibre Optic* dan Pecahan Kaca". Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Tjokrodimulyo Kardiyono (1996). "Teknologi Beton". NAFIRI Yogyakarta

