

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengolahan Data

4.1.1. Hasil Uji Kekuatan Tekan

Pada saat pengujian kekuatan tekan yang perlu diperhatikan adalah pemadatan pasir cetak pada saat pembuatan spesimen uji. Pada saat pemadatan pasir cetak tersebut kekuatan pemadatan pada tiap spesimen diusahakan harus sama dan sesuai dengan standart yang digunakan karena berpengaruh pada hasil pengujian. Berikut ini merupakan data-data hasil uji kekuatan tekan.

Tabel 4.1. Nilai Kekuatan Tekan Pasir Cetak

	Nilai kekuatan tekan pasir cetak (kN/m ²)			
	Perlakuan			
Percobaan ke-	A	B	C	D
1	10	11	12	9
2	12	12	12,5	10,5
3	11	10,5	11	9,5
4	10,5	11	12	9
5	9	10	11	8,5
Rata-rata	10,5	10,9	11,7	9,3

Keterangan:

A terdiri dari 86% pasir silika, 9% Bentonit, 5% air dan 0% *Fly Ash* (kontrol)

B terdiri dari 86% pasir silika, 8% Bentonit, 5% air dan 1% *Fly Ash*

C terdiri dari 86% pasir silika, 7% Bentonit, 5% air dan 2% *Fly Ash*

D terdiri dari 86% pasir silika, 6% Bentonit, 5% air dan 3% *Fly Ash*

Pada pengujian kekuatan tekan ini dilakukan lima kali pengujian pada tiap komposisi pasir cetak. Dari nilai yang diperoleh pada tiap percobaan, kemudian dilakukan pengujian statistik *nonparametrik* yang digunakan untuk menguji hipotesa dari k perlakuan adalah Analisis variansi dengan rangking satu arah Kruskal-Wallis, dengan prosedur sebagai berikut :

1. Mengurutkan semua data pengukuran dari nilai terkecil ke nilai terbesar.
2. Perangkingan awal dari 1 ke n data
3. Perangkingan akhir, jika terdapat lebih dari satu pengamatan yang memiliki nilai pengamatan yang sama maka berikanlah pada pengamatan tersebut dengan nilai rata-rata rangking

Tabel 4.2 Rangkings untuk test Kruskal-Wallis untuk uji tekan pasir cetak

Identifikasi data	5,4	1,4	4,4	5,1	3,4	1,1	5,2	2,4	3,2	4,1	1,2	3,1	3,3	4,2	5,3	1,3	2,1	2,2	3,3	2,3
Nilai data	8,5	9	9	9	9,5	10	10	10,5	10,5	10,5	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12,5
Rangking Awal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Rangking Akhir	1	3	3	3	5	6,5	6,5	9	9	9	13	13	13	13	13	17,5	17,5	17,5	17,5	20

4. Mengubah data pengukuran kebentuk ordinal seperti terlihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data ordinal dari hasil pengukuran

A		B		C		D	
X1	R1	X2	R2	X3	R3	X4	R4
10	6,5	11	13	12	17,5	9	3
12	17,5	12	17,5	12,5	20	10,5	9
11	13	10,5	9	11	13	9,5	5
10,5	9	11	13	12	17,5	9	3
9	3	10	6,5	11	13	8,5	1
ΣR1=49		ΣR2=59		ΣR3=81		ΣR4=21	

5. Menghitung nilai uji Kruskal-Wallis dengan formula berikut:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Dimana

n = banyaknya pengamatan

k = jumlah perlakuan

R_i = jumlah rangking masing-masing perlakuan

6. Uji hipotesa dengan hipotesa yang digunakan

H₀ : Penambahan *Fly Ash* tidak berpengaruh terhadap nilai kekuatan tekan pasir cetak atau tidak ada perbedaan rata-rata nilai kekuatan tekan pasir cetak.

H₁ : Penambahan *Fly Ash* berpengaruh terhadap nilai kekuatan tekan pasir cetak atau ada perbedaan rata-rata nilai kekuatan tekan pasir cetak.

Syarat uji hipotesa jika $H > \chi_{\alpha}^2$ dengan derajat bebas $df = k-1$ tolak H_0 pada selang kepercayaan $(1-\alpha)$ 100%, jika sebalik terima H_0 . Dari tabel khi-kudrat dengan $df = 4-1 = 3$ dengan $\alpha = 5\%$ diperoleh $= 7,815$ sehingga H_0 ditolak artinya penambahan *Fly Ash* memberikan pengaruh terhadap terhadap nilai kekuatan tekan pasir cetak.

Setelah diketahui bahwa penambahan *Fly Ash* berpengaruh terhadap kekuatan tekan pasir cetak maka perlu dilakukan uji dwisampel Wilcoxon (control dan penambahan *Fly Ash*) untuk menentukan perlakuan mana yang memberikan pengaruh positif terhadap kekuatan tekan pasir cetak, prosedurnya.

1. Membuat tabel perbandingan control dengan komposisi yang diberikan *Fly Ash* yang akan dibandingkan.

Tabel 4.4 Perbandingan data hasil pengamatan

A (kontrol)	10	12	11	10,5	9
B	11	12	10,5	11	10

2. Mengubah data pengukuran menjadi data ordinal dan beri tanda pada pengamatan komposisi yang diberikan *Fly Ash*.

Tabel 4.5 Ranging untuk test dwisampel Wilcoxon

Nilai data	9	10	10	10,5	10,5	11	11	11	12	12
Rangking awal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rangking akhir	1	2,5	2,5	4,5	4,5	7	7	7	9,5	9,5

3. Menjumlahkan rangking dari pengamatan kontrol
 $w_1 = 1 + 2,5 + 4,5 + 7 + 9,5 = 24,5$
4. Menghitung jumlah pengamatan komposisi yang diberikan *Fly Ash* dengan

$$w_2 = \frac{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 + 1)}{2} - w_1 = \frac{(5 + 5)(5 + 5 + 1)}{2} - 24,5 = 30,5$$

5. Mencari nilai kritis u minimum

$$u_1 = w_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} = 24,5 - \frac{5(5 + 1)}{2} = 9,5$$

$$u_2 = w_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} = 30 - \frac{5(5+1)}{2} = 15$$

nilai kritis minimum $u = 9,5$

6. Uji hipotesa dengan hipotesa yang digunakan

H_0 : Nilai kekuatan tekan pasir cetak kontrol sama dengan Nilai kekuatan tekan pasir cetak penambahan *Fly Ash* 1 %.

H_1 : Nilai kekuatan tekan pasir cetak dengan penambahan *Fly Ash* 1 % Lebih besar daripada nilai kekuatan tekan pasir cetak kontrol.

Uji peluang nilai kritis wilcoxon jika $P(U \leq u | H_0 \text{ benar}) < \alpha$, H_0 ditolak Berdasarkan Lampiran 1, $P(U \leq 9,5 | H_0 \text{ benar}) = 0,3095 > 0,05$ maka H_0 diterima artinya penambahan *Fly Ash* sebesar 1 % tidak memberikan perubahan terhadap nilai tekan pasir cetak.

Dengan cara yang sama untuk perlakuan C dan D diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil uji dwisampel Wilcoxon

	u minimum	$P(U \leq u H_0 \text{ benar})$	α	H_0
A vs B	9,6	0,3095	0,05	diterima
A vs C	4	0,048	0,05	ditolak
A vs D	4	0,048	0,05	ditolak

Setelah perbandingan nilai kekuatan tekan antara kelompok kontrol (A) dengan perlakuan (B, C, D) dilakukan dan hasilnya ditabulasikan pada tabel 4.6 maka kita perlu melihat perbandingan nilai kekuatan tekan antar perlakuan dimulai dari perlakuan B vs C, kemudian B vs D dan C vs D. Uji statistik yang digunakan sama yaitu dwisampel Wilcoxon dengan prosedurnya sebagai berikut:.

1. Membuat tabel perbandingan untuk B dengan C.

Tabel 4.7 Perbandingan data hasil pengamatan

B	11	12	10,5	11	10
C	12	12,5	11	12	11

2. Mengubah data pengukuran menjadi data ordinal dan beri tanda pada pengamatan untuk perlakuan C.

Tabel 4.8 Rangkaing untuk test dwisampel Wilcoxon

Nilai data	10	10,5	11	11	11	11	12	12	12	12,5
Rangking awal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rangking akhir	1	2	4,5	4,5	4,5	4,5	8	8	8	10

3. Menjumlahkan rangking dari pengamatan B

$$w_1 = 1 + 2 + 4,5 + 4,5 + 8 = 20$$

4. Menghitung jumlah pengamatan komposisi pembanding (C) dengan

$$w_2 = \frac{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 + 1)}{2} - w_1 = \frac{(5 + 5)(5 + 5 + 1)}{2} - 20 = 35$$

5. Mencari nilai kritis u minimum

$$u_1 = w_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} = 20 - \frac{5(5 + 1)}{2} = 5$$

$$u_2 = w_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} = 35 - \frac{5(5 + 1)}{2} = 20$$

nilai kritis minimum $u = 5$

6. Uji hipotesa dengan hipotesa yang digunakan

H_0 : Nilai kekuatan tekan pasir cetak B sama dengan Nilai kekuatan tekan pasir cetak C.

H_1 : Nilai kekuatan tekan pasir cetak B lebih kecil daripada Nilai Kekuatan tekan pasir cetak C.

Uji peluang nilai kritis wilcoxon jika $P(U \leq u \mid H_0 \text{ benar}) < \alpha$, H_0 ditolak berdasarkan Lampiran 1, $P(U \leq 5 \mid H_0 \text{ benar}) = 0,075 > 0,05$ maka H_0 diterima artinya nilai kekuatan tekan pasir cetak B sama dengan Nilai kekuatan pasir cetak C.

Dengan cara yang sama untuk pengujian berpasangan perlakuan lainnya ditabulasikan hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.9 Hasil uji dwisampel Wilcoxon

	u minimum	$P(U \leq u H_0 \text{ benar})$	α	H_0
B vs C	5	0,075	0,05	diterima
B vs D	1,5	0,012	0,05	ditolak
C vs D	0	0,004	0,05	ditolak

4.1.2. Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan cara mengeringkan spesimen uji yang digunakan, yaitu berbentuk silinder dengan dimensi tinggi 50 mm dan diameter 50 mm dalam tungku pengering pada suhu 100 sampai 110°C selama dua jam. Spesimen yang telah dikeringkan tersebut didinginkan pada temperatur kamar, kemudian diangkat pada ketinggian tertentu dan dilepas bebas. Selanjutnya dilakukan pengukuran pada diameter penampang lingkaran pecahan pasir cetak. Berikut ini merupakan data-data hasil uji *kekerasan*.

Tabel 4.10. Nilai Kekerasan Pasir Cetak

Percobaan ke-	Nilai Kekerasan Pasir Cetak (kN/m ²)			
	Perlakuan			
	A	B	C	D
1	2	3	4	1,5
2	3	2,5	4,5	2
3	2	3,5	4	2
4	2,5	3	4	1,5
5	2	3,5	4,5	2,5
Rata-rata	2,3	3,1	4,2	1,6

Keterangan:

A terdiri dari 86% pasir silika, 9% Bentonit, 5% air dan 0% *Fly Ash* (kontrol)

B terdiri dari 86% pasir silika, 8% Bentonit, 5% air dan 1% *Fly Ash*

C terdiri dari 86% pasir silika, 7% Bentonit, 5% air dan 2% *Fly Ash*

D terdiri dari 86% pasir silika, 6% Bentonit, 5% air dan 3% *Fly Ash*

Pada pengujian kekerasan ini juga dilakukan lima kali pengujian pada tiap komposisi pasir cetak. Dari nilai yang diperoleh pada tiap percobaan, kemudian dilakukan pengujian statistik *nonparametrik* yang digunakan untuk menguji hipotesa dari k perlakuan adalah Analisis variansi dengan rangking satu arah Kruskal-Wallis, dengan prosedur sebagai berikut :

1. Mengurutkan semua data pengukuran dari nilai terkecil ke nilai terbesar.
2. Perangkingan awal dari 1 ke n data
3. Perangkingan akhir, jika terdapat lebih dari satu pengamatan yang memiliki nilai pengamatan yang sama maka berikanlah pada pengamatan tersebut dengan nilai rata-rata rangking

Ketika langkah prosedur ini ditabelkan seperti yang terlihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rangking untuk test Kruskal-Wallis untuk uji kekerasan

Identifikasi data	1,4	4,4	1,1	2,4	3,1	3,4	5,1	2,2	4,1	5,4	1,2	2,1	4,2	3,2	5,2	1,3	3,3	4,3	2,3	5,3
Nilai data	1,5	1,5	2	2	2	2	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5	4	4	4	4,5	4,5
Rangking awal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Rangking akhir	1,5	1,5	5	5	5	5	5	9	9	9	12	12	12	14,5	14,5	17	17	17	19,5	19,5

4. Kemudian rubahlah data pengukuran kebentuk ordinal seperti terlihat pada tabel 4.12

Tabel 4.12 Data ordinal dari hasil pengukuran

A		B		C		D	
X1	R1	X2	R2	X3	R3	X4	R4
2	5	3	12	4	17	1,5	1,5
3	12	2,5	9	4,5	19,5	2	5
2	5	3,5	14,5	4	17	2	5
2,5	9	3	12	4	17	1,5	1,5
2	5	3,5	14,5	4,5	19,5	2,5	9
ΣR1=36		ΣR2=62		ΣR3=90		ΣR4=22	

5. Selesaikan nilai uji Kruskal-Wallis dengan formula berikut:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1) \quad (2.1)$$

Dimana

n = banyaknya pengamatan

k = jumlah perlakuan

R_i = jumlah rangking masing-masing perlakuan

$$H = \frac{12}{20(20+1)} \left[\frac{(36)^2}{5} + \frac{(62)^2}{5} + \frac{(90)^2}{5} + \frac{(22)^2}{5} \right] - 3(20+1)$$

$$= 15,422$$

6. Uji hipotesa dengan hipotesa yang digunakan

H_0 : Penambahan *Fly Ash* tidak berpengaruh terhadap nilai kekerasan pasir cetak.

H_1 : Penambahan fly ash berpengaruh terhadap nilai kekerasan pasir cetak.

Syarat uji hipotesa jika dengan derajat bebas $df = k-1$ tolak H_0 pada selang kepercayaan $(1-\alpha)$ 100%, jika sebalik terima H_0 . Dari tabel khi-kudrat dengan $df = 4-1 = 3$ dengan $\alpha = 5\%$ diperoleh $= 7,815$ sehingga H_0 ditolak artinya penambahan *Fly Ash* memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasan pasir cetak.

Setelah diketahui bahwa penambahan *Fly Ash* berpengaruh terhadap nilai kekerasan pasir cetak maka perlu dilakukan uji dwisampel Wilcoxon (control dan penambahan *Fly Ash*) untuk menentukan perlakuan mana yang memberikan pengaruh positif terhadap nilai kekerasan pasir cetak, prosedurnya.

1. Membuat tabel perbandingan control dengan komposisi yang diberikan *Fly Ash* yang akan dibandingkan.

Tabel 4.13 Perbandingan data hasil pengamatan

A (kontrol)	2	3	2	2,5	2
B	3	2,5	3,5	3	3,5

2. Mengubah data pengukuran menjadi data ordinal dan beri tanda pada pengamatan komposisi yang diberikan *Fly Ash*.

Tabel 4.14 Rangking untuk test dwisampel Wilcoxon

Nilai data	2	2	2	2,5	2,5	3	3	3	3,5	3,5
Rangking awal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rangking akhir	2	2	2	4,5	4,5	7	7	7	9,5	9,5

3. Menjumlahkan rangking dari pengamatan kontrol

$$w_1 = 2 + 2 + 2 + 4,5 + 7 = 17,5$$

4. Menghitung jumlah pengamatan komposisi yang diberikan *Fly Ash* dengan

$$w_2 = \frac{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 + 1)}{2} - w_1 = \frac{(5 + 5)(5 + 5 + 1)}{2} - 17,5 = 37,5$$

5. Mencari nilai kritis u minimum

$$u_1 = w_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} = 17,5 - \frac{5(5 + 1)}{2} = 2,5$$

$$u_2 = w_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} = 37,5 - \frac{5(5 + 1)}{2} = 22,5$$

nilai kritis minimum $u = 2,5$

6. Uji hipotesa dengan hipotesa yang digunakan

H_0 : Nilai kekerasan pasir cetak kontrol sama dengan nilai kekerasan pasir cetak dengan penambahan *Fly Ash* 1 %.

H_1 : Nilai kekerasan pasir cetak dengan penambahan *Fly Ash* 1 % lebih besar daripada nilai kekerasan pasir cetak kontrol.

Uji peluang nilai kritis wilcoxon jika $P(U \leq u \mid H_0 \text{ benar}) < \alpha$, H_0 ditolak berdasarkan Lampiran 1, $P(U \leq 2,5 \mid H_0 \text{ benar}) = 0,022 < 0,05$ maka H_0 ditolak artinya kekerasan pasir cetak dengan penambahan *Fly Ash* 1 % lebih besar daripada nilai kekerasan pasir cetak kontrol.

Dengan cara yang sama untuk perlakuan B dan C diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.15 Hasil uji dwisampel Wilcoxon

	u minimum	$P(U \leq u \mid H_0 \text{ benar})$	α	H_0
A vs B	2,5	0,022	0,05	ditolak
A vs C	0	0,004	0,05	ditolak
A vs D	6,5	0,133	0,05	diterima

Setelah perbandingan nilai kekerasan pasir cetak antara kelompok kontrol (A) dengan perlakuan (B, C, D) dilakukan dan hasilnya ditabulasikan pada tabel 4.15 maka kita perlu melihat perbandingan nilai kekerasan pasir cetak antar perlakuan

dimulai dari perlakuan B vs C, kemudian B vs d dan C vs D. Uji statistik yang digunakan sama yaitu dwisampel Wilcoxon dengan prosedurnya sebagai berikut:

1. Membuat tabel perbandingan untuk B dengan C.

Tabel 4.16 Perbandingan data hasil pengamatan

B	3	2,5	3,5	3	3,5
C	4	4,5	4	4	4,5

2. Mengubah data pengukuran menjadi data ordinal dan beri tanda pada pengamatan untuk perlakuan C.

Tabel 4.17 Rangkaing untuk test dwisampel Wilcoxon

Nilai data	2,5	3	3	3,5	3,5	4	4	4	4,5	4,5
Rangkaing awal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rangkaing akhir	1	2,5	2,5	4,5	4,5	7	7	7	9,5	9,5

3. Jumlahkan rangkaing dari pengamatan B

$$w_1 = 1 + 2,5 + 2,5 + 4,5 + 4,5 = 15$$

4. Hitunglah jumlah pengamatan komposisi pembanding (C) dengan

$$w_2 = \frac{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 + 1)}{2} - w_1 = \frac{(5 + 5)(5 + 5 + 1)}{2} - 15 = 40$$

5. Carilah nilai kritis u minimum

$$u_1 = w_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} = 15 - \frac{5(5 + 1)}{2} = 0$$

$$u_2 = w_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} = 40 - \frac{5(5 + 1)}{2} = 25$$

nilai kritis minimum $u = 0$

7. Uji hipotesa dengan hipotesa yang digunakan

H_0 : Nilai kekerasan pasir cetak B sama dengan Nilai kekerasan pasir cetak C.

H_1 : Nilai kekerasan pasir cetak B lebih kecil daripada Nilai kekerasan pasir cetak C.

Uji peluang nilai kritis wilcoxon jika $P(U \leq u | H_0 \text{ benar}) < \alpha$, H_0 ditolak. Berdasarkan Lampiran 1, $P(U \leq 0 | H_0 \text{ benar}) = 0,004 < 0,05$ maka H_0 Ditolak artinya nilai kekerasan pasir cetak B lebih kecil daripada nilai kekerasan pasir cetak C.

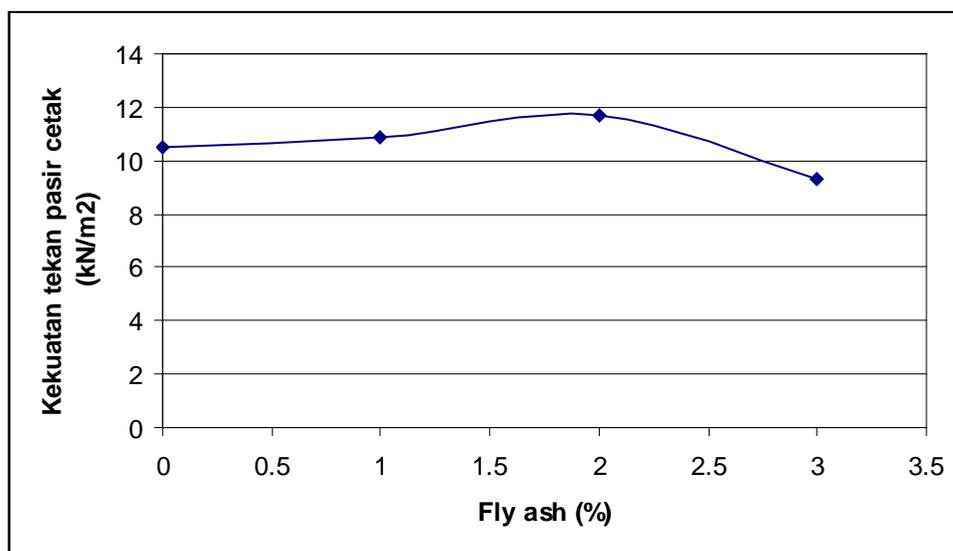
Dengan cara yang sama untuk pengujian berpasangan perlakuan lainnya ditabulasikan hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4.18 Hasil uji dwisampel Wilcoxon

	u minimum	$P(U \leq u H_0 \text{ benar})$	α	H_0
B vs C	0	0,004	0,05	ditolak
B vs D	0,5	0,006	0,05	ditolak
C vs D	0	0,004	0,05	ditolak

4.2. Pembahasan

Untuk memudahkan analisa maka semua data tabel dipresentasikan dalam bentuk grafik. Grafik 4.1 menunjukkan pengaruh penambahan kadar *Fly Ash* terhadap kekuatan tekan.



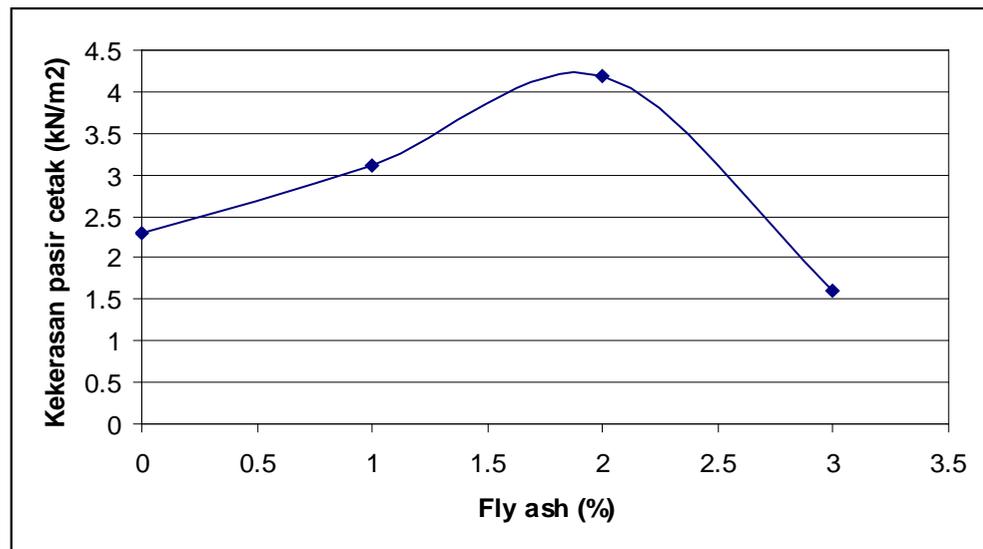
Gambar 4.1. Grafik Pengaruh *Fly Ash* Terhadap Kekuatan Tekan Pasir Cetak

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa penambahan *Fly Ash* akan meningkatkan kekuatan tekan sampai pada titik tertentu dan setelah itu kekuatan tekan menurun seiring bertambahnya *Fly Ash*. Komposisi cetakan pasir 3% *Fly Ash* memiliki nilai kekuatan tekan yang paling rendah jika dibandingkan dengan komposisi cetakan pasir yang lain. Penambahan 2% *Fly Ash* pada komposisi cetakan pasir mampu

meningkatkan kekuatan tekan 11,4 % dibandingkan komposisi cetakan pasir tanpa *Fly Ash* . Peningkatan kekuatan tekan ini disebabkan karena reaksi pozzolanik dapat berlangsung secara sempurna. Reaksi pozzolanik sempurna karena hasil reaksi karbonasi yaitu kalsium karbonat lebih sedikit. Penyebab rendahnya kalsium karbonat yang dihasilkan dari reaksi karbonasi jumlah CaO (lempung) di dalam komposisi cetakan pasir sedikit. Seperti diketahui bahwa kandungan CaO pada *Fly Ash* pada umumnya lebih sedikit dibandingkan pada bentonite. Sehingga secara rata-rata kandungan CaO pada cetakan pasir 2% *Fly Ash* lebih rendah dibandingkan dengan cetakan pasir tanpa *Fly Ash*. Hal ini ditunjang juga dari uji statistic yang menunjukkan bahwa *Fly Ash* memperbaiki sifat kekuatan tekan.

Pada cetakan pasir dengan 3% *Fly Ash*, kekuatan tekan mengalami penurunan dibandingkan dengan cetakan pasir 2% *Fly Ash*. Hal ini diduga berkaitan dengan batas minimum komposisi bentonite dalam cetakan pasir. Soejono (2001) menunjukkan bahwa komposisi bentonite yang masih dapat berfungsi sebagai pengikat cetakan pasir sekitar 6- 9 %. Pada penelitian tersebut bahwa memperlihatkan kemampuan komposisi bentonite 6% kekuatan tekan jauh lebih kecil dibandingkan 9%. Meskipun kadar bentonite masih berada dalam range penelitian tersebut, namun dengan penambahan *Fly Ash* 3 % memungkinkan menurunkan kemampuan tekan cetakan pasir dibandingkan cetakan pasir murni 6% bentonite. Karena pada komposisi cetakan pasir *Fly Ash* 3%, kandungan air lebih rendah dibandingkan murni bentonite 6%. Sebab salah satu fungsi air dalam hal ini agar unsur-unsur dalam bentonite dapat melakukan reaksi pengikatan.

Gambar 4.2. menunjukkan pengaruh penambahan *Fly Ash* terhadap kekerasan cetakan. Penambahan 2% *Fly Ash* pada komposisi cetakan pasir meningkatkan nilai kekerasan sebesar 82,6% terhadap kekerasan cetakan pasir tanpa *Fly Ash* . Hal ini disebabkan reaksi pozzolanik berlangsung baik. Reaksi ini menimbulkan efek pengerasan dan penguatan ikatan antar butir pasir. Ikatan ini memperpendek jarak antar butir pasir sehingga cetakan pasir menjadi semakin padat. Hal ini mengakibatkan kemungkinan indentor untuk mengenai ruang kosong pada cetakan pasir semakin kecil. Kecenderungan grafik ini sebanding dengan kecenderungan grafik kekuatan tekan pada umumnya.



Gambar 4.2. Grafik Pengaruh *Fly Ash* Terhadap Kekerasan Pasir Cetak

Meskipun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan 2% *Fly Ash* pada komposisi cetakan pasir menghasilkan kekuatan tekan dan kekerasan lebih tinggi dibandingkan komposisi cetakan pasir tanpa *Fly Ash*, namun nilai *permeabilitas* dan *collapsibility* mengalami peningkatan. Untuk mengetahui lebih lanjut terhadap sifat *permeabilitas* dan *collapsibility* dapat dilihat pada laporan hasil peneliti lain.