

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi nilai-nilai yang merupakan hasil dari penelitian laboratorium yang meliputi berat volume beton, slump, f_{cs} , kuat desak beton yang disyaratkan, regresi dan mekanisme abu sekam padi. Untuk hasil dari kuat desak beton akan dibuat regresi dengan program matlab. Untuk lebih jelasnya adalah sebagai berikut ini.

5.1. Berat Volume Beton

Berat volume beton sangat dipengaruhi oleh berat jenis bahan-bahan penyusunnya, sehingga apabila bahan penyusun mempunyai berat jenis yang besar maka beton yang dihasilkan akan mempunyai berat volume yang besar pula. Demikian juga sebaliknya apabila digunakan bahan penyusun dengan berat jenis ringan maka beton yang dihasilkan akan mempunyai berat volume yang kecil.

Berat volume beton adalah perbandingan antara berat beton dengan volume beton. Pada penelitian ini dipakai benda uji berbentuk silinder, sehingga perhitungan berat volume beton adalah sebagai berikut.

$$\text{Berat volume} = \frac{\text{Berat beton (kg)}}{\text{volume beton (cm}^3\text{)}}$$

$$\text{Berat volume} = \frac{\text{Berat beton}}{\frac{1}{4} \pi \theta^2 \times t} \quad (5.1)$$

Dimana :

$$\frac{1}{4} \pi \theta^2 = \text{Luas silinder}$$

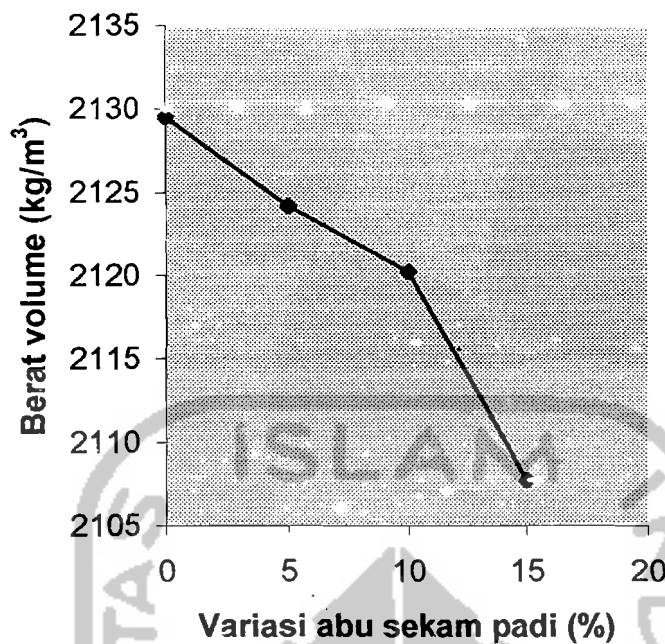
t = Tinggi silinder

Untuk tiap variasi adukan, berat volume beton adalah rata – rata dari volume benda uji yang berjumlah 5 buah. Data perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 7.

Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan pada beton dengan agregat kasar pecahan genteng dengan berbagai variasi penggantian abu sekam padi (*rice husk ash*), dihasilkan berat volume rata-rata pada setiap variasi campuran. Untuk mencari berat volume dicari berdasarkan pers (5.1). Hasil perhitungan berat volume dicantumkan pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Daftar berat volume beton pada tiap variasi penggantian abu sekam padi

Kode	Variasi penggantian abu sekam padi (%)	Berat volume rata-rata beton (kg/m ³)
A	0 %	2129,540
B	5 %	2124,194
C	10 %	2120,208
D	15 %	2107,195



Gambar 5.1 Grafik hubungan berat volume beton dengan variasi penggantian sebagian semen dengan abu sekam padi (hasil penelitian)

Dari Tabel 5.1 dan Gambar 5.1 dapat diketahui bahwa berat volume rata-rata beton dengan agregat kasar pecahan genteng dengan variasi penggantian sebagian semen dengan abu sekam padi (*rice husk ask*) cenderung akan menurunkan berat volume beton. Ini disebabkan karena berkurangnya semen yang secara langsung juga akan mengurangi berat volume semen terhadap volume adukan beton.

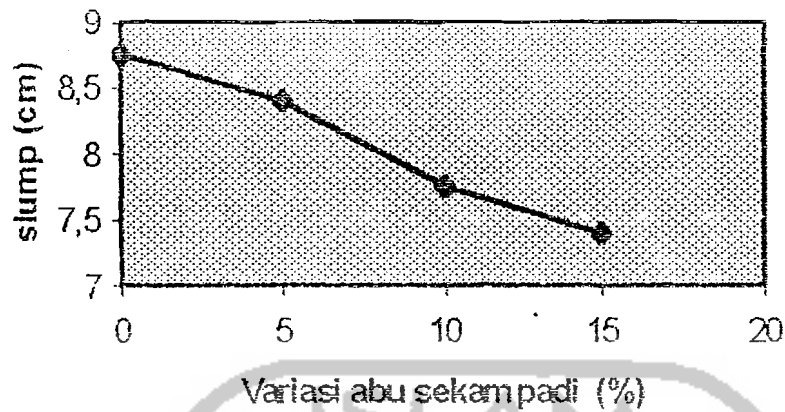
5.2. Slump

Slump yang merupakan parameter untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton, berkaitan erat dengan tingkat kemudahan beton untuk dikerjakan. Nilai-nilai slump yang dicapai pada berbagai variasi campuran beton seperti pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Nilai slump pada berbagai variasi campuran

Kode	Variasi campuran	Slump (cm)
A	0 %	8,75
B	5 %	8,4
C	10 %	7,75
D	15 %	7,4

Dari Tabel 5.2 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai slump sejalan dengan penggantian sebagian semen dengan abu sekam padi. Ini menunjukkan bahwa air dalam adukan diserap oleh abu sekam padi yang mempunyai tingkat penyerapan yang tinggi, dan juga karena sifat permeabilitas dari agregat pecahan genteng. Penurunan nilai slump ini mempengaruhi tingkat kemudahan pengerjaan beton (*workability*), karena dengan turunnya nilai slump berarti kelccakan beton berkurang, sehingga beton semakin kental dan sulit untuk dikerjakan. Untuk lebih memperjelas nilai-nilai slump tersebut disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.2.



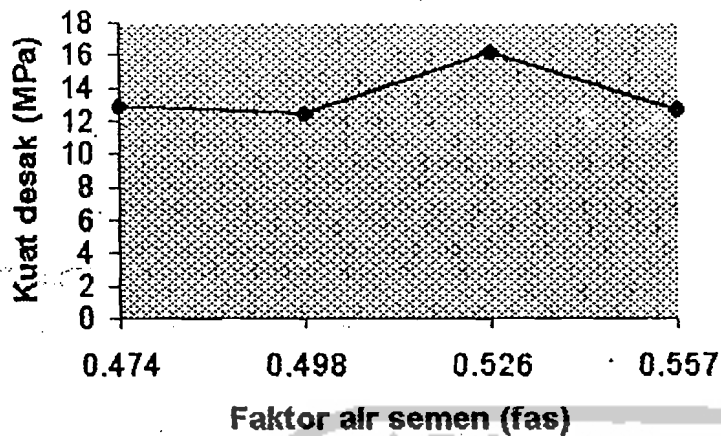
Gambar 5.2 Grafik hubungan antara nilai slump dengan variasi abu sekam padi (hasil penelitian).

5.3 Faktor air semen (*fas*)

Faktor air semen adalah perbandingan antara berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan beton. Berikut ini adalah pengaruh faktor air semen terhadap kuat desak beton dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Gambar 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Hubungan *fas* dengan kuat desak

Variasi	<i>fas</i>	Kuat desak (MPa)
0 %	0,47	12,869
5%	0,498	12,403
10 %	0,526	16,123
15 %	0,557	12,652



Gambar 5.3 Grafik hubungan faktor air semen dan kuat desak beton (hasil penelitian)

Pada faktor air semen ini terjadi kenaikan. Ini dikarenakan adanya pengurangan berat semen terhadap air dan sesuai dengan persamaan (3.3) bahwa apabila berat semen dikurangi akan menaikkan faktor air semennya. Walaupun menurut persamaan (3.1) tampak bahwa semakin rendah *fas* kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan maka akan dihasilkan beton yang keropos sehingga akan menurunkan kuat desak betonnya. Dengan demikian ada suatu nilai *fas* optimum yang menghasilkan kuat desak beton maksimum. Pada penelitian ini ternyata kuat desak maksimum terjadi pada *fas* 0,526 yaitu sebesar 16,123 MPa.

5.4 Kuat Desak Beton

Kuat desak beton mempunyai kecenderungan untuk bervariasi pada berbagai adukan. Besar variasi itu tergantung dari beberapa faktor (Tjokrodimulyo, 1991), antara lain adalah :

1. variasi mutu bahan dari satu adukan ke adukan berikutnya,
2. variasi cara pengadukan, dan
3. stabilitas pengadukan.

Karena penelitian ini dilakukan di laboratorium, maka diharapkan hasil yang dicapai sebaik mungkin dengan memperhatikan ketelitian pelaksanaannya.

Perhitungan kuat desak beton yang disyaratkan ($f'c$) dimaksudkan untuk mengetahui mutu beton dan merupakan ukuran dari mutu pelaksanaannya.

Perhitungan ini didasarkan pada ketentuan rumus sebagai berikut.

$$f'c = f'cr - k \cdot S \quad (5.2)$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat desak (MPa)

$f'cr$ = Kuat desak rata-rata (MPa)

k = Tetapan statistik

S = Deviasi standar

Untuk memenuhi persyaratan diatas perlu dicari hal-hal sebagai berikut.

- a. Mencari deviasi standar

Deviasi standar dicari dengan rumus berikut

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f'_{b_i} - f'_{cr})^2}{N-1}} \quad (5.3)$$

Dimana :

S = Deviasi standar (MPa)

f'_{b_i} = Kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji (MPa)

f'_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata (MPa)

N = Jumlah benda uji

- b. Mencari konversi jumlah benda uji yang disyaratkan

Pada penelitian ini diambil 5 buah untuk tiap variasi. Dari keadaan ini maka perlu diberikan faktor pengali terhadap deviasi standar yang didapat berdasarkan Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Faktor pengali untuk deviasi standar bila data benda uji tersedia kurang dari 30 buah (Tjokrodimolyo, 1992)

Jumlah sample	Faktor pengali standar deviasi
≥ 30	1,00
25	1,03
20	1,08
< 15	1,16

Hasil perhitungan kuat desak beton yang disyaratkan dengan ketentuan – ketentuan tersebut di atas adalah seperti dalam Tabel 5.5 – 5.8.

Tabel 5.5 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton tanpa abu sekam padi

Kode	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (kN)	f^b (MPa)	(f^b-f^{cr}) (MPa)	$(f^b-f^{cr})^2$ (MPa)
A1	11,209	177,658	330	18,575	1,393	1,940
A2	11,180	176,244	340	19,291	2,109	4,448
A3	11,226	178,368	240	13,455	-3,727	13,890
A4	11,141	177,186	300	16,931	-0,251	0,063
A5	11,142	176,714	312	17,656	0,474	0,225
				85,908		20,566

$$f^{cr} = \frac{\sum f^b}{N} = \frac{85,908}{5} = 17,18 \text{ MPa}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f'_b - f'_{cr})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{20,506}{4}} = 2,267 \text{ MPa}$$

$$f_c = f_{cr} - k \cdot S$$

$$= 16,737 - 1,64 (1,16 \times 2,267)$$

$$= 12,869 \text{ MPa}$$

Tabel 5.6 Hasil kuat desak beton dengan variasi abu sekam padi 5 %

Kode	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (kN)	f'_b (MPa)	$(f'_b - f'_{cr})$ (MPa)	$(f'_b - f'_{cr})^2$ (MPa)
B1	11,132	177,186	355	20,035	3,298	10,877
B2	11,2135	186,991	288	15,402	-1,335	1,782
B3	11,305	180,743	270	14,938	-1,799	3,236
B4	11,146	178,841	270	15,907	-1,640	2,690
B5	11,385	174,600	318	18,213	1,476	2,178
				83,685		20,763

$$f'_{cr} = \frac{\sum f'_b}{N} = \frac{83,685}{5} = 16,737 \text{ MPa}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f'_b - f'_{cr})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{20,763}{4}} = 2,278 \text{ MPa}$$

$$f_c = f_{cr} - k \cdot S$$

$$= 16,737 - 1,64 (1,16 \times 2,278)$$

$$= 12,403 \text{ MPa}$$

Tabel 5.7 Hasil kuat desak beton dengan variasi abu sekam padi 10 %

Kode	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (kN)	$f'b$ (MPa)	$(f'b-f'cr)$ (MPa)	$(f'b-f'cr)^2$ (MPa)
C1	11,179	176,714	385	21,787	2,358	5,560
C2	11,289	181,220	360	19,685	0,436	0,190
C3	11,120	176,174	307	17,373	-2,056	4,227
C4	11,130	174,835	350	20,019	0,590	0,348
C5	11,150	185,057	335	18,102	-1,327	1,761
				97,146		12,086

$$f'_{cr} = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{97,146}{5} = 19,429 \text{ MPa}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f'b - f'_{cr})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{12,086}{4}} = 1,7388 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f'c &= f'_{cr} - k \cdot s \\ &= 19,429 - 1,64 (1,16 \times 1,738) \\ &= 16,123 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 5.8 Hasil kuat desak beton dengan variasi abu sekam padi 15 %

Kode	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (kN)	f^b (MPa)	(f^b-f^{cr}) (MPa)	$(f^b-f^{cr})^2$ (MPa)
D1	10,881	172,266	250	14,512	-0,136	0,018
D2	10,950	181,220	265	14,623	-0,025	6,25.10 ⁻⁴
D3	10,873	174,835	270	15,443	0,795	0,632
D4	11,093	171,105	268	15,663	1,015	1,030
D5	10,984	176,950	230	12,998	-1,650	2,722
				73,239		4,403

$$f^{cr} = \frac{\sum f^b}{N} = \frac{73,239}{5} = 14,648 \text{ MPa}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f^b - f^{cr})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4,403}{4}} = 1,049 \text{ MPa}$$

$$f^c = f^{cr} - k \cdot s$$

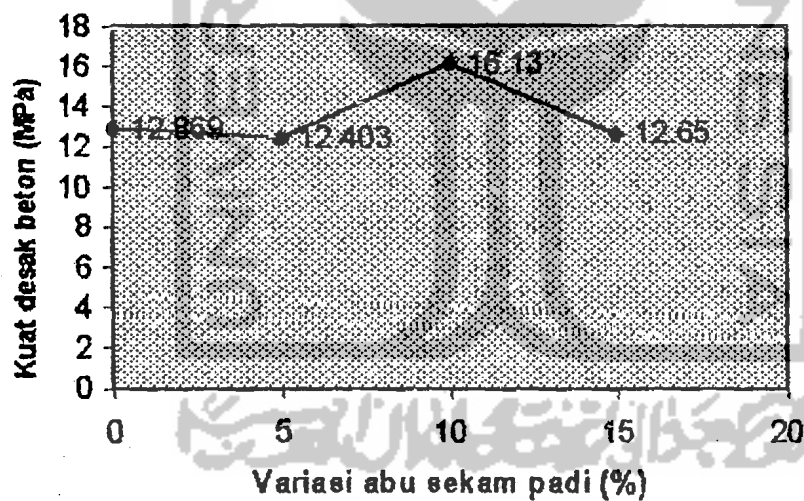
$$= 14,648 - 1,64 (1,16 \times 1,049)$$

$$= 12,652 \text{ MPa}$$

Hasil perhitungan kuat desak beton dari data pengujian benda uji pada penelitian ini di cantumkan dalam Tabel 5.9 dan Gambar 5.4

Tabel 5.9 Variasi abu sekam padi dengan kuat desak

Kode	Variasi abu sekam padi (%)	Kuat desak (f'_c) MPa
A	0	12,869
B	5	12,403
C	10	16,123
D	15	12,652



Gambar 5.4 Grafik hubungan antara kuat desak beton dengan variasi penggantian sebagian semen dengan abu sekam padi (hasil penelitian).

Dari Tabel 5.9 dan Gambar 5.4 dapat diketahui bahwa kuat desak beton terjadi kenaikan kuat desak pada variasi penggantian 10 % sebesar 16,123 MPa dari kuat desak sebesar 12,869 MPa atau mengalami kenaikan sebesar 25,286 %. Dengan demikian penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian berat semen dapat meningkatkan kuat desaknya pada batas-batas penggantian tertentu, dalam hal ini penggantian optimum adalah 10 %. Hal ini terjadi karena pada variasi tersebut pori-pori beton terisi oleh abu sekam padi sehingga kepadatan meningkat.

Variasi penggantian sebagian semen dengan abu sekam padi di atas 10 % tidak meningkatkan kuat desak beton karena dengan penggantian yang lebih banyak, cenderung mengganggu lekatan pasta semen pada agregat bahkan membentuk gumpalan yang tidak dapat tercampur dengan pasta semen. Hal inilah yang menyebabkan penurunan kuat desak beton.

Pada beton dengan agregat kasar pecahan genteng, kuat desak rencana sebesar 17,5 MPa ternyata tidak tercapai. Dari pengamatan pada benda uji hasil uji desak terlihat bahwa saat diuji desak, agregat pecahan genteng akan pecah lebih dahulu. Hal ini menunjukkan bahwa daya ikat pasta semen masih kuat tetapi agregat kasar pecahan genteng sudah mencapai batas kemampuan menahan desak sehingga pecah lebih dahulu.

Prosentasi perubahan kuat desak yang terjadi terhadap kuat desak rencana disajikan dalam Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Prosentase perubahan kuat desak dari kuat desak rencana

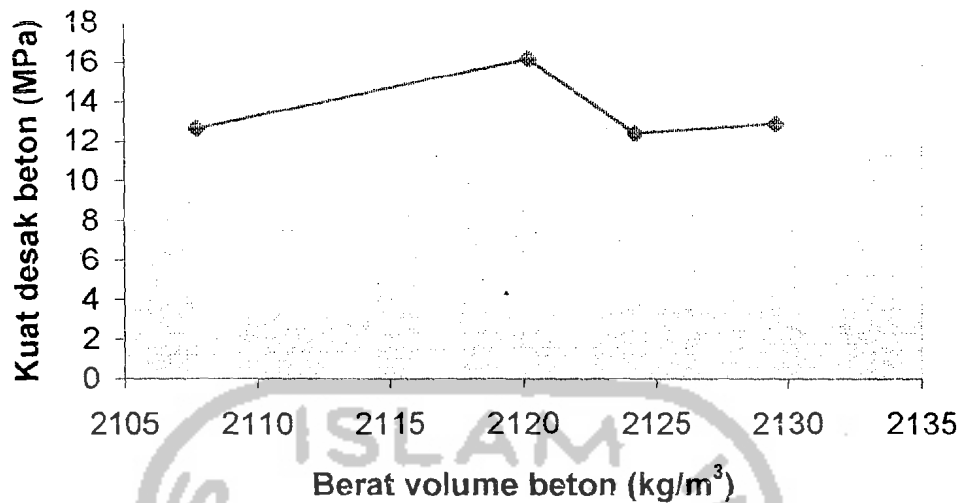
Variasi abu sekam padi (%)	Kuat desak rencana (MPa)	Kuat desak (MPa)	Penurunan (%)
0	17,5	12,869	24,92
5	17,5	12,403	29,12
10	17,5	16,123	7,82
15	17,5	12,652	27,70

Dengan mengetahui prosentase perubahan kuat desak dari Tabel 5.10 dapat direncanakan kuat desak rencana pada perhitungar. setingkat di atas kuat desak rencana sesungguhnya, untuk mencapai kuat desak yang diharapkan, khususnya diaplikasikan pada perencanaan beton agregat kasar pecahan genteng.

Untuk mengetahui pengaruh kuat desak beton dengan berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.5 .

Tabel 5.1.i Pengaruh kuat desak beton dengan berat volume beton

Variasi abu sekam padi (%)	Kuat desak beton (MPa)	Berat volume (kg/m ³)
0	12,869	2129,54
5	12,403	2124,19
10	16,123	2120,20
15	12,652	2107,73



Gambar 5.5 Grafik hubungan antara kuat desak beton dengan berat volume (hasil penelitian)

Pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.5 di atas terlihat kuat desak tertinggi terjadi pada penggantian 10 %, hal ini dikarenakan pori-pori pada beton dapat terisi oleh abu sekam padi. Pada pengurangan sebagian semen antara 0 - 5 % terjadi penurunan kuat desak. Semakin kecil berat volumenya, beton semakin menurun kuat desaknya.

Pada pengurangan sebagian semen antara 10 – 15 % terjadi penurunan kuat desak beton yang drastis. Hal ini disebabkan karena pengurangan dari berat volume akibat pengurangan berat semen, dan juga semakin bertambahnya abu sekam padi yang berlebihan justru mengganggu lekatan antara semen dengan agregat.

Pada pengurangan 10 % merupakan penggantian semen yang optimum, karena kuat desak yang dihasilkan adalah maksimum. Ini berarti abu sekam padi yang ditambahkan sebanyak 10 % sebagian besar akan mengisi semua pori-pori beton.

5.5 Regresi

Regresi merupakan suatu analisis untuk mengetahui hubungan antara abu sekam padi dengan kuat desak beton. Di bawah ini merupakan persamaan regresi linier dan non linier hubungan antara abu sekam padi dengan kuat desak beton.

1. Regresi linier $P = 0,0615xi + 13,0522$ (5.4)

2. Regresi non linier $P = -0,031xi^2 + 0,51134xi + 12,2991$ (5.5)

Dimana :

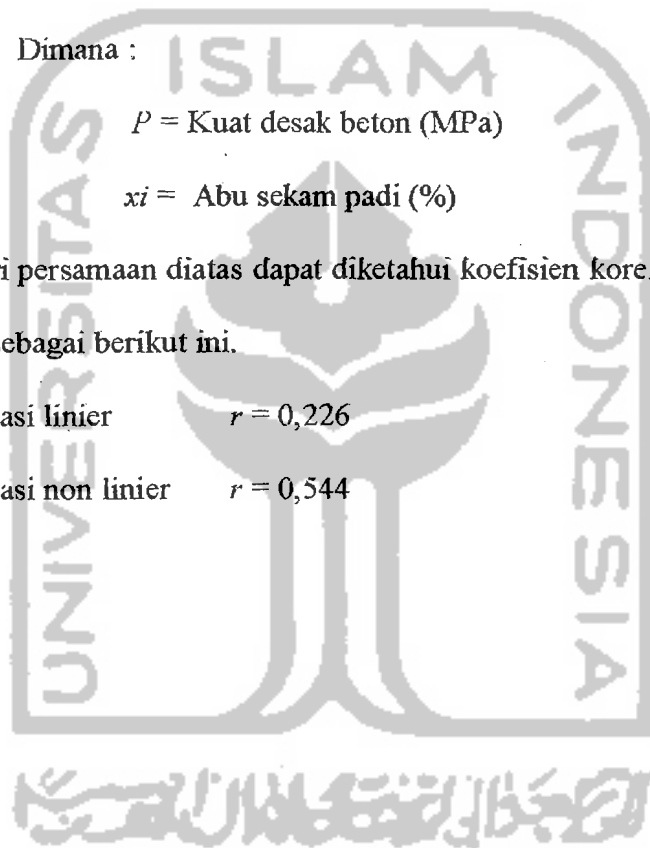
P = Kuat desak beton (MPa)

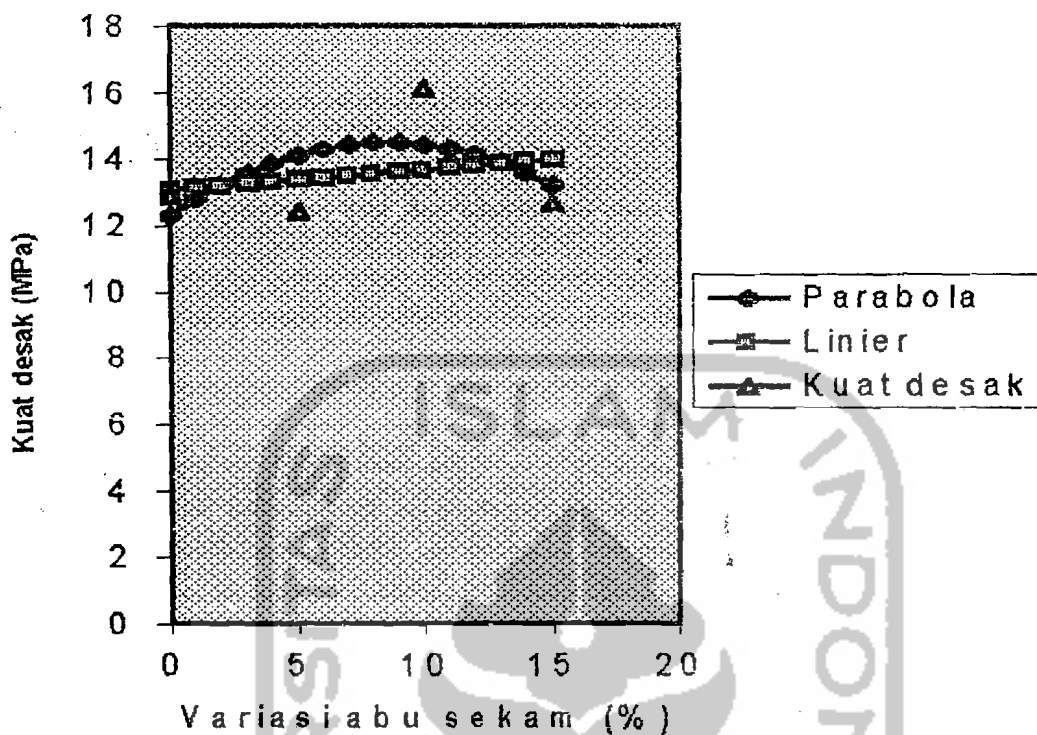
xi = Abu sekam padi (%)

Dari persamaan diatas dapat diketahui koefisien korelasi dan grafik pada Gambar 5.6 sebagai berikut ini.

1. Koefisien korelasi linier $r = 0,226$

2. Koefisien korelasi non linier $r = 0,544$





Gambar 5.6 Grafik regresi linier dan non linier antara variasi abu sekam dan kuat desak beton (hasil penelitian)

Dari kedua regresi di atas diambil regresi non linier, ini didasarkan pada sebaran data hasil uji kuat desak beton dan grafik yang paling mendekati keadaan sebenarnya adalah grafik regresi non linier. Sesuai dengan teori regresi ternyata terdapat hubungan antara abu sekam padi dengan kuat desak beton dengan tingkat hubungan atau koefisien korelasi sebesar 0,544 dan ini masih sesuai dengan standar koefisien korelasi yaitu antara 0-1, untuk mengetahui lebih jelas perhitungan regresi digunakan program matlab dan perhitungan koefisien korelasi dapat dilihat pada lampiran 8-13.

5.6 Mekanisme Abu Sekam padi

Mekanisme terjadinya pengaruh abu sekam padi secara jelas dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Mekanisme Reaksi Pozzolonik *Rice Husk Ash*

Proses berlangsungnya reaksi pozzolonik pengikatan kapur dalam beton dengan abu sekam padi berlangsung sangat rumit.

Namun secara sederhana, reaksi tersebut dapat dituliskan, (Swami, 1986):



Kemudian sisa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang merupakan kapur bebas, bereaksi dengan silika (SiO_2) yang terkandung dalam abu sekam padi membentuk Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) yang berbentuk gel dan mempunyai kemampuan seperti perekat.

2. Mekanisme abu sekam padi sebagai filler

Selain disebabkan oleh reaksi pozzolonik abu sekam padi, mekanisme kedua yang menyebabkan penambahan kekuatan desak beton adalah terisinya pori-pori beton yang sebelumnya terisi oleh air yang terperangkap, oleh gel yang dihasilkan dari reaksi kapur bebas dengan abu sekam padi. Pada beton tanpa abu sekam padi, daerah transisi (*transition zone*) berisi air yang terjebak oleh partikel-partikel semen dan selanjutnya menguap meninggalkan daerah yang porous. Keadaan porous ini menyebabkan kekuatan beton menjadi relatif rendah.

Mekanisme lain yang menyebabkan semakin berkurangnya kuat desak beton adalah proses reaksi dari kapur padam itu sendiri, reaksinya adalah (Swami, 1986):



Kapur padam yang terdapat dalam jumlah berlebihan ini akan mengikat CO_2 dari udara dan membentuk pasta CaCO_3 (batu kapur) yang pada akhirnya mengeras. Pada tahap kapur bebas masuk bereaksi dengan CO_2 dan membentuk senyawa CaCO_3 memang akan mengeras, tetapi karena proses pengikatan pada kapur membutuhkan waktu lama pengerasan akan terjadi pada permukaan saja. Adanya senyawa CaCO_3 maka akan memperbesar jarak antar butiran agregat kuat desak tidak lagi didukung oleh butiran-butiran agregat yang sudah menyatu dengan adanya pasta semen, tetapi oleh pasta CaCO_3 yang mampu menahan kuat desak jejas berada di bawah kemampuan agregat.