

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil penelitian

Dari hasil pengujian desak beton terhadap benda uji yang telah berumur 28 hari, maka diperoleh hasil kuat desak yang ditunjukkan pada tabel 5.1. dan selanjutnya dianalisis terhadap kuat desak karakteristiknya dengan rumus sebagai berikut (SNI T-15-91-03 pasal 3.4.3)

$$f_c' = f_{cr}' - k \cdot s_d$$

Dimana : f_c' = kuat desak karakteristik beton (Mpa)

f_{cr}' = kuat desak rata-rata benda uji (Mpa)

k = tetapan statistik. Indonesia memakai 5 % kegagalan (defektives) maka faktor $k=1.64$

s = standar deviasi (Mpa) yang dihitung dengan rumus :

$$s = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n - 1}}$$

Dimana : fb' = kekuatan beton yang diperoleh dari masing-masing benda

uji

n = banyaknya sampel benda uji

$$f_{cr}' = \frac{\sum_{i=1}^{n=1} fb_{(i)}}{n}$$

Perhitungan analisis hasil pengujian kuat desak beton akan ditunjukkan pada tabel 5.1 sampai tabel 5.5 sebagai berikut ini

Tabel 5.1 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton normal

Kode	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (KN)	fb' (Mpa)	(fb' - fcr') (Mpa)	(fb' - fcr') ² (Mpa)
A1	12.506	162.860	500	30.702	-3.392	11.506
A2	12.431	162.860	635	38.991	4.898	23.990
A3	12.495	167.415	575	34.346	0,258	0.067
A4	12.503	163.993	570	34.758	0.668	0,446
A5	12.757	167.415	530	31.658	-2,432	5.915
				170.455		41.924

$$f_{cr}' = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{170.455}{5} = 34,092 \text{ Mpa}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{41.924}{5-1}} = 4,2374 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = f_{cr}' - k.sd$$

$$= 34,092 - 1,64 \times (1.16 \times 4,2374) = 26.03077 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.2 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton dengan variasi penambahan Rice Husk Ash 5%

Kode	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (KN)	fb' (Mpa)	(fb'-fcr') (Mpa)	(fb'-fcr') ² (Mpa)
B1	12.372	167.415	510	30.46	0.518	0.268
B2	12.340	163.993	505	30.79	0.908	0.824
B3	12.200	161.731	440	27.21	-2.672	7.140
B4	12.330	165.130	540	32.70	2.818	7.941
B5	12.317	162.860	460	28.25	-1.632	2.663
				149.41		18.830

$$f_{cr}' = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{149.41}{5} = 29.882 \text{ Mpa}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{18.83}{5-1}} = 2.1697 \text{ Mpa}$$

$$F_c' = f_{cr}' - k \cdot s.d$$

$$= 29.882 - 1.64 \times (1.16 \times 2.1697) = 25.754363 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.3 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton dengan variasi penambahan Rice Husk Ash 10%

Kode	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (KN)	fb' (Mpa)	(fb'-fcr') (Mpa)	(fb'-fcr') ² (Mpa)
C1	12.115	165.130	650	39.363	-0.469	0.220
C2	12.265	166.271	685	41.198	1.066	1.136
C3	12.210	163.993	675	41.161	1.029	1.059
C4	12.260	162.860	650	39.912	-0.220	0.0484
C5	12.250	163.993	640	39.026	-1.106	1.223
				200.660		3.6864

$$f_{cr}' = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{200.660}{5} = 40.132 \text{ Mpa}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{3.6864}{5-1}} = 0.7600 \text{ Mpa}$$

$$F_c' = f_{cr}' - k \cdot s.d$$

$$= 40.132 - 1.64 \times (1.16 \times 0.7600) = 38.686176 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.4 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton dengan variasi penambahan Rice Husk Ash 15%

Kode	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (KN)	fb' (Mpa)	(fb'-fcr') (Mpa)	(fb'-fcr') ² (Mpa)
D1	12.155	165.130	505	30.58	-0.678	0.4597
D2	12.170	162.860	535	32.85	1.592	2.5345
D3	12.157	165.130	550	33.31	2.052	4.2107
D4	11.910	165.130	495	29.98	-1.278	1.6330
D5	12.015	163.993	485	29.57	-1.688	2.8493
				156.290		11.6872

$$f_{cr}' = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{156.290}{5} = 31.2580 \text{ Mpa}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{11.6872}{5-1}} = 1.7090 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = f_{cr}' - k \cdot s_d$$

$$= 31.258 - 1.64 \times (1,16 \times 1.7090) = 28.006798 \text{ Mpa}$$

Tabel 5.5 Hasil kuat desak beton dengan jenis beton dengan variasi penambahan Rice Husk Ash 20%

Kode	Berat (Kg)	Luas (cm ²)	Beban Maks (KN)	fb' (Mpa)	(fb'-fcr') (Mpa)	(fb'-fcr') ² (Mpa)
E1	11.900	165.130	490	29.67	1.698	2.8832
E2	11.975	163.993	470	28.66	0.688	0.4733
E3	12.255	159.485	485	30.41	3.438	11.8198
E4	11.900	166.271	440	26.46	-1.512	2.2861
E5	12.120	166.271	410	24.66	-3.312	10.9693
				139.860		28.4317

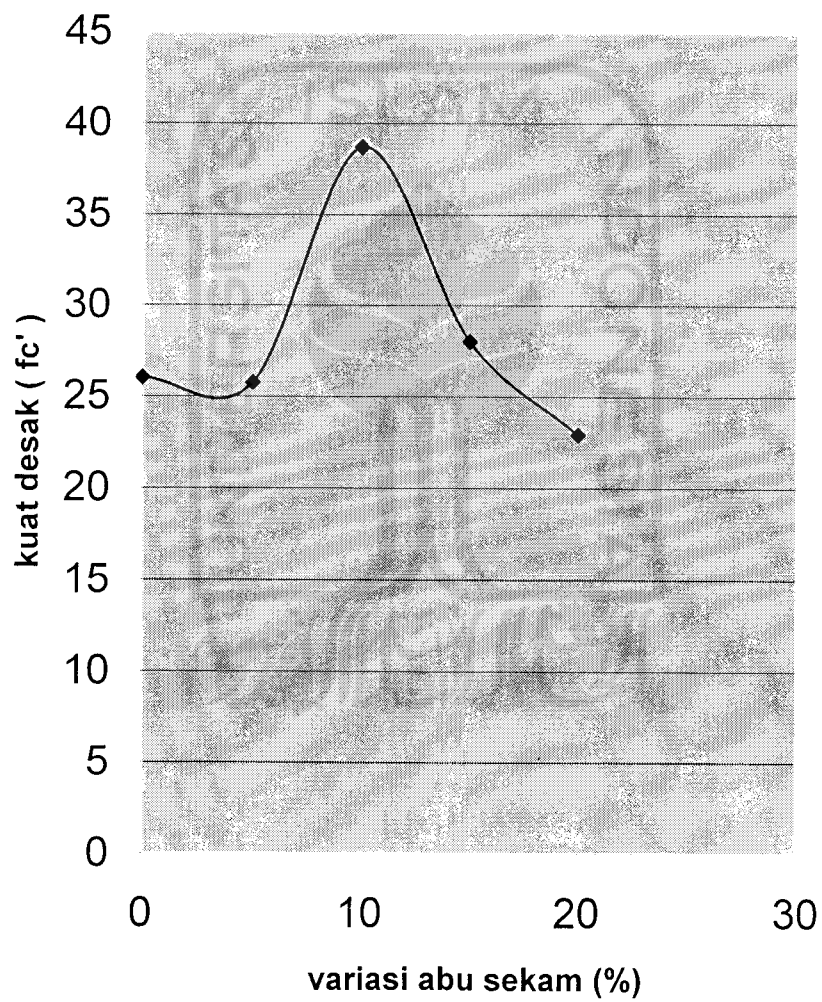
$$f_{cr}' = \frac{\sum f'b}{N} = \frac{139.860}{5} = 27.9720 \text{ Mpa}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (fb' - f_{cr}')^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{28.4317}{5-1}} = 2.6661 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = f_{cr}' - k \cdot sd$$

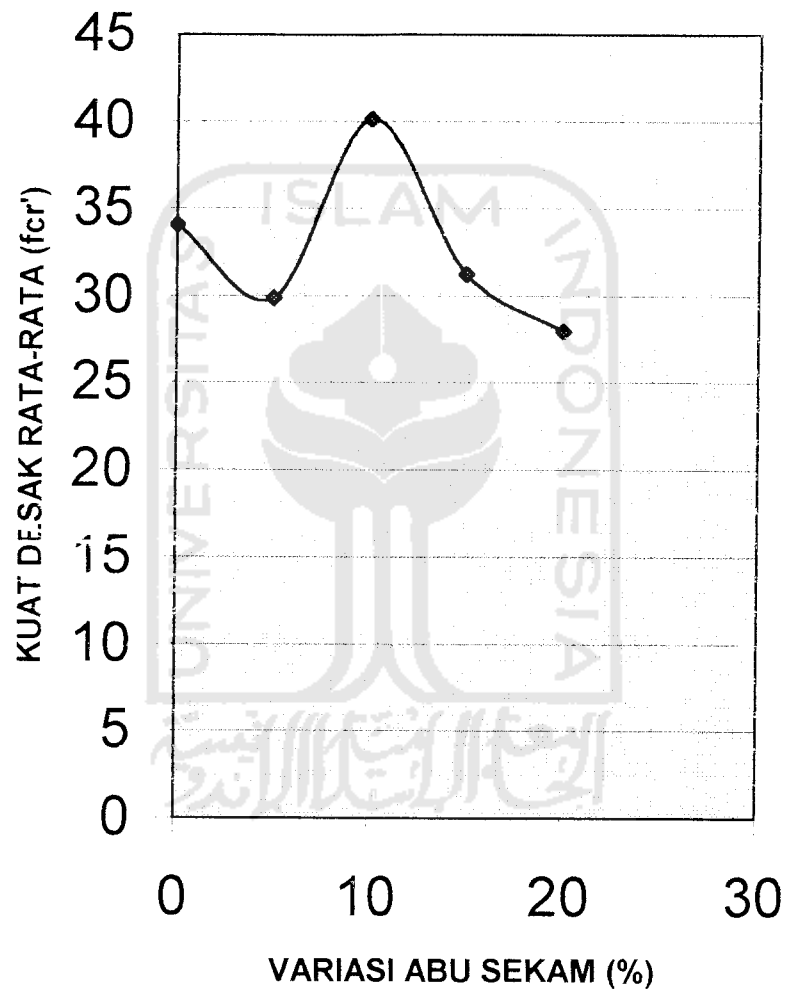
$$= 27.972 - 1.64 \times (1,16 \times 2.6661) = 22.9000114 \text{ Mpa}$$

VARIASI	KUAT DESAK (fc')
0	26.03077
5	25.754363
10	38.686176
15	28.006798
20	22.9000114



Gambar 5.1 Grafik antara variasi dengan kuat desak (fc')

VARIASI	KUAT DESAK RATA-RATA (fcr)
0	34.092
5	29.882
10	40.132
15	31.258
20	27.972



Gambar 5.2 Grafik antara variasi dengan kuat desak rata-rata (fcr)

5.2. Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Beton

Modulus elastis didefinisikan sebagai perubahan tegangan (*stress*) akibat adanya regangan dan elastis, yang merupakan ukuran untuk mengetahui kekuatan atau ketahanan bahan terhadap adanya perubahan bentuk atau deformasi (I Gede Oka D), modulus elastis juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dengan regangan (Daniel L.S, Struktur, 1991).

Sedangkan modulus kenyal didefinisikan sebagai jumlah energi elastis yang dapat diserap oleh satu satuan volume bahan yang dibebani gaya, besarnya modulus kenyal sama dengan luas bidang dibawah diagram tegangan (σ) dan regangan (ϵ) sampai batas sebanding (Charles G.S dan John E.J , 1986).

Untuk menghitung besarnya modulus elastis dan modulus kenyal, mempergunakan formulasi sebagai berikut :

$$E_c = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p} \dots\dots\dots (kg/cm^2)$$

Dimana : E_c = Modulus elastis

σ_p = Tegangan pada saat batas sebanding

ϵ_p = Regangan yang dihasilkan oleh tegangan σ_p

$$E_k = 0.5 \times \sigma_p \times \epsilon_p \dots\dots\dots (kg/cm^2)$$

Dimana : E_k = Modulus kenyal

σ_p = Tegangan pada saat batas sebanding

ϵ_p = Regangan yang dihasilkan oleh tegangan σ_p

5.2.1. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ε) untuk Beton

$$\sigma = \frac{\text{beban}}{\text{luas}} \dots\dots\dots (\text{kg} / \text{cm}^2)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L'}{L_0} \dots\dots\dots (\text{mm})$$

$$\Delta L' = \frac{\Delta L}{2} \dots\dots\dots (\text{mm})$$

$$E_c = \frac{\sigma_p}{\varepsilon_p} \dots\dots\dots (\text{kg} / \text{cm}^2)$$

$$E_k = 0.5 \times \sigma_p \times \varepsilon_p \dots\dots\dots (\text{kg} / \text{cm}^2)$$

Tabel 5.6. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ε) untuk Beton

Normal

Kode	Beban (kg)	L ₀ (cm)	Luas (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)	ΔL' (10 ⁻³ mm)	Regangan (10 ⁻³)
A1	2038.74	29.5	162.860	12.5184	10.0	0.0339
A2	2038.74	29.7	162.860	12.5184	8.0	0.0269
A3	3058.10	29.4	167.415	18.2666	12.5	0.0425
A4	2038.74	29.5	163.993	12.4319	7.5	0.0254
A5	2038.74	29.6	167.415	12.1778	7.5	0.0253

Tabel 5.7. Hasil Hitungan Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal untuk Beton

Normal

Kode	Modulus Elastis E_c (kg / cm ²)	Modulus Kenyal E_k (kg / cm ²)
A1	369274.336	2.1219×10^{-4}
A2	465368.030	1.6837×10^{-4}
A3	429802.353	3.8816×10^{-4}
A4	489444.882	1.5789×10^{-4}
A5	481335.968	1.5405×10^{-4}
Σ	2235225.569	10.8066×10^{-4}

$$\begin{aligned}
 E_c \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_c}{5} \\
 &= \frac{2235225.569}{5} \\
 &= 447045.1138 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_k \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{5} \\
 &= \frac{10.8066 \times 10^{-4}}{5} \\
 &= 2,16132 \times 10^{-4} \text{ kg / cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 5.8. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ϵ) untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 5%

Kode	Beban (kg)	Lo (cm)	Luas (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)	$\Delta L'$ (10 ⁻³ mm)	Regangan (10 ⁻³)
B1	5096.84	29.5	167.415	30.4443	22.5	0.0763
B2	2038.74	29.6	163.993	12.4319	7.5	0.0253
B3	14271.15	29.4	161.731	88.2400	72.5	0.2466
B4	2038.74	29.65	165.130	12.3463	7.5	0.0255
B5	2038.74	29.65	162.860	12.5184	8.0	0.0270

Tabel 5.9. Hasil Hitungan Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 5%

Kode	Modulus Elastis Ec (kg / cm ²)	Modulus Kenyal Ek (kg / cm ²)
B1	399007.864	1.1615x10 ⁻³
B2	491379.447	1.5726x10 ⁻⁴
B3	357826.440	1.0880x10 ⁻⁴
B4	484168.628	1.5742x10 ⁻⁴
B5	463644.444	1.6900x10 ⁻⁴
Σ	1870026.823	1.2525x10 ⁻³

$$\begin{aligned}
 E_c \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_c}{5} \\
 &= \frac{1870026.823}{5} \\
 &= 374005.3646 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_k \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{5} \\
 &= \frac{1.2525 \times 10^{-3}}{5} \\
 &= 2.5050 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 5.10. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ε) untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 10%

Kode	Beban (kg)	Lo (cm)	Luas (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)	$\Delta L'$ (10 ⁻³ mm)	Regangan (10 ⁻³)
C1	2038.74	29.35	165.130	12.3336	10.0	0.0341
C2	2038.74	29.7	166.271	12.2615	10.0	0.0337
C3	2038.74	29.6	163.993	12.4319	7.5	0.0253
C4	2038.74	29.8	162.860	12.5184	7.5	0.0252
C5	3058.10	29.35	163.993	18.6478	12.5	0.0426

Tabel 5.11. Hasil Hitungan Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 10%

Kode	Modulus Elastis E_c (kg / cm ²)	Modulus Kenyal E_k (kg / cm ²)
C1	361689.150	2.1029×10^{-4}
C2	363842.730	2.0661×10^{-4}
C3	491379.447	1.5726×10^{-4}
C4	496761.905	1.5773×10^{-4}
C5	437741.784	3.972×10^{-4}
Σ	2151415.016	11.2909×10^{-4}

$$\begin{aligned}
 E_c \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_c}{5} \\
 &= \frac{2151415.016}{5} \\
 &= 430283.0032 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_k \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{5} \\
 &= \frac{11.2909 \times 10^{-4}}{5} \\
 &= 2.2582 \times 10^{-4} \text{ kg / cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 5.12. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ε) untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 15%

Kode	Beban (kg)	Lo (cm)	Luas (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)	$\Delta L'$ (10 ⁻³ mm)	Regangan (10 ⁻³)
D1	2038.74	29.5	165.130	12.3463	10.5	0.0356
D2	2038.74	29.65	162.860	12.5784	10.0	0.0337
D3	2038.74	29.6	165.130	12.3463	8.0	0.0270
D4	8154.94	29.65	165.130	49.3850	42.5	0.1433
D5	2038.74	29.7	163.993	12.4319	9.5	0.0320

Tabel 5.13. Hasil Hitungan Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 15%

Kode	Modulus Elastis Ec (kg / cm ²)	Modulus Kenyal Ek (kg / cm ²)
D1	346806.180	2.1976x10 ⁻⁴
D2	371465.875	2.1094x10 ⁻⁴
D3	457270.370	1.6668x10 ⁻⁴
D4	344626.657	3.5384x10 ⁻³
D5	388496.875	1.9891x10 ⁻⁴
Σ	2297162.832	4.33469x10 ⁻³

$$\begin{aligned}
 E_c \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_c}{5} \\
 &= \frac{2297162.832}{5} \\
 &= 459432.5664 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_k \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{5} \\
 &= \frac{4.33469 \times 10^{-3}}{5} \\
 &= 8.6694 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 5.14. Hasil Hitungan Tegangan (σ) Dan Regangan (ϵ) untuk Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 20%

Kode	Beban (kg)	Lo (cm)	Luas (cm ²)	Tegangan (kg/cm ²)	$\Delta L'$ (10 ⁻³ mm)	Regangan (10 ⁻³)
E1	2038.74	29.2	165.130	12.3463	9.5	0.0325
E2	2038.74	29.6	163.993	12.4319	14.5	0.0490
E3	2038.74	30.0	159.485	12.7833	7.5	0.0250
E4	2038.74	29.5	166.271	12.2615	9.5	0.0322
E5	2038.74	29.9	166.271	12.2615	10.0	0.0334

**Tabel 5.15. Hasil Hitungan Modulus Elastis Dan Modulus Kenyal Untuk
Beton Dengan Variasi Rice Husk Ash 20%**

Kode	Modulus Elastis E_c (kg/cm^2)	Modulus Kenyal E_k (kg/cm^2)
E1	379886.154	2.0063×10^{-4}
E2	253712.245	3.0458×10^{-4}
E3	511332.000	1.5979×10^{-4}
E4	380791.926	1.9741×10^{-4}
E5	367110.778	2.0477×10^{-4}
Σ	1892833.103	1.06718×10^{-3}

$$\begin{aligned}
 E_c \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_c}{5} \\
 &= \frac{1892833.103}{5} \\
 &= 378566.6206 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_k \text{ rata-rata} &= \frac{\sum E_k}{5} \\
 &= \frac{1.0671 \times 10^{-3}}{5} \\
 &= 2.13436 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

5.3 Hasil Analisis Permeabilitas Beton

Perhitungan koefisien permeabilitas beton hasil campuran beton dihitung pada umur campuran maksimum yaitu 28 hari, perhitungan koefisien permeabilitas beton ditunjukkan pada tabel 5.16 dengan menggunakan *Hukum Darcy*, yaitu :

$$\frac{Idq}{Adt} = Kx(h/L)$$

Tabel 5.16 Hasil Perhitungan Koefisien Permeabilitas

Variasi %	Umur (hari)	Penetrasi (cm)	Koefisien Permeabilitas Rata-rata (cm/dt)
0	28	1.35	9.3×10^{-12}
5	28	15	6.0×10^{-12}
10	28	0.8	1.3×10^{-14}
15	28	4.5	1.3×10^{-11}
20	28	15	2.4×10^{-11}

Contoh hitungan untuk mencari koefisien permeabilitas (K) :

- Untuk variasi 0 %

$$V = K \cdot \frac{h}{L}$$

$$\frac{1}{A} \cdot \frac{dq}{dt} = K \cdot \frac{h}{L}$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,15^2 = 0,017671 \text{ m}^2$$

$$dq = 1 \text{ cc} = 1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$dt = 5 \text{ jam} = 18000 \text{ detik}$$

$$h = 50 \text{ m}$$

$$L = 0.15 \text{ m}$$

$$\frac{1}{0.017671} \cdot \frac{10^{-6}}{18000} = K \cdot \frac{50}{0.15}$$

$$3.1000 \times 10^{-9} = K \cdot \frac{50}{0.15}$$

$$K = 9.3000 \times 10^{-12} \text{ m/detik}$$

5.17 Tabel Hasil Perhitungan Koefisien Permeabilitas Beton

Variasi	Tekanan Air (bar)	dh (m ³)		$\frac{dq}{dt} \times \frac{1}{A}$ (m/det)		K (m/det)	
		1	2	1	2	1	2
0 %	5	1x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	3.1x10 ⁻⁹	3.1x10 ⁻⁹	9.3x10 ⁻¹²	9.3x10 ⁻¹²
5 %	5	6.9x10 ⁻⁵	5.8x10 ⁻⁵	2.2x10 ⁻⁷	1.8x10 ⁻⁷	6.6x10 ⁻¹²	5.4x10 ⁻¹²
10 %	5	1.2x10 ⁻⁶	1.6x10 ⁻⁶	3.7x10 ⁻⁹	5.0x10 ⁻⁹	1.1x10 ⁻¹⁴	1.5x10 ⁻¹⁴
15 %	5	1.3x10 ⁻⁶	1.5x10 ⁻⁶	4.0x10 ⁻⁹	4.7x10 ⁻⁹	1.2x10 ⁻¹¹	1.4x10 ⁻¹¹
20 %	5	2.5x10 ⁻⁵	2.7x10 ⁻⁵	7.9x10 ⁻⁸	8.5x10 ⁻⁸	2.4x10 ⁻¹⁰	2.5x10 ⁻¹⁰

5.4 Pembahasan

5.4.1. Tinjauan Umum

Secara umum, hasil pengujian sebagai mana dapat dilihat pada hasil yang telah disajikan diatas memperlihatkan pengaruh penggantian semen dengan abu sekam padi terhadap kenaikan kuat desak dan menjadikan beton menjadi impermeabel. Kekuatan beton dengan penggantian semen dengan abu sekam padi yang lebih tinggi dari pada beton normal, diakibatkan oleh terjadinya pengaruh abu sekam padi. Pembahasan terhadap hasil penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut :

5.4.2. Kuat Desak Beton

Pengujian kuat desak beton diberikan pada benda uji berumur 28 hari. Dari hasil pengujian kelima variasi (0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %) ternyata menghasilkan kuat desak rata-rata optimum adalah pengganti semen sebesar 10 % dengan abu sekam padi. Hal ini dapat dilihat pada tabel 5.18.

Tabel 5.18 Kuat desak rata-rata masing-masing variasi

Variasi	Kuat desak rata-rata (Mpa)
0 %	34,092
5 %	29,882
10 %	40,132
15 %	31,258
20 %	27,972

Disamping itu pada pengujian yang pernah dilakukan yang menggunakan abu sekam padi lolos saringan nomor 200 menghasilkan kuat desak yang lebih rendah dibandingkan dengan beton yang menggunakan abu sekam padi lolos saringan nomor 150 sebagai pengganti sebagian semen.

Pemakaian pozzolan *rice husk ash* akan mengurangi pemakaian semen seberat 45,9740 Kg untuk setiap 1 m³ adukan beton.

Selanjutnya untuk beton normal memiliki kuat desak karakteristik sebesar 26.8003 Mpa dimana kuat desak untuk beton dengan penambahan pozzolan *rice husk ash* 10% memiliki kuat desak karakteristik sebesar 39.603552 Mpa atau mengalami kenaikan sebesar 47.772794 %.

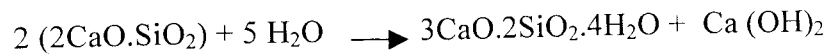
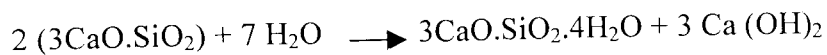
Terjadinya kenaikan kuat desak beton disebabkan karena abu sekam padi. Pengaruh abu sekam padi sebagai pengganti sebagian semen mengakibatkan terjadinya reaksi pengikatan kapur bebas yang dihasilkan dalam proses hidrasi semen oleh silika yang terkandung dalam abu sekam padi. Selain itu, butiran abu sekam padi yang jauh lebih kecil (75 mikron) membuat beton lebih penuh/padat karena pori yang kosong antara butiran agregat diisi oleh abu sekam padi. Mekanisme terjadinya pengaruh abu sekam padi secara jelas dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Mekanisme Reaksi Pozzolanik *Rice Husk Ash*

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

Namun secara sederhana, reaksi tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :

(Swamy, 1986)

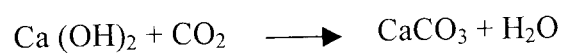


Kemudian sisa $\text{Ca} (\text{OH})_2$ yang merupakan kapur bebas, bereaksi dengan silika (SiO_2) yang terkandung dalam abu sekam padi membentuk Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) yang berbentuk gel dan mempunyai kemampuan seperti perekat.

2. Mekanisme abu sekam padi sebagai filler

Selain disebabkan oleh reaksi pozzolanik abu sekam padi, mekanisme kedua yang menyebabkan penambahan kekuatan desak beton adalah terisinya pori-pori, yang sebelumnya berisi air yang terperangkap, oleh gel yang dihasilkan dari reaksi kapur bebas – 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 relatif rendah.

Mekanisme lain yang dapat menyebabkan semakin berkurangnya kuat tekan adalah proses reaksi dari kapur padam itu sendiri. Reaksi kimianya dapat diterangkan sebagai berikut : (Swamy, 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 kadar kapur bebas masuk bereaksi dengan CO_2 dan membentuk senyawa CaCO_3 (batu kapur) memang akan mengeras. Akan tetapi karena proses pengikatan pada kapur membutuhkan waktu lama pengerasan akan terjadi pada permukaannya saja.

Adanya senyawa CaCO_3 (batu kapur) maka akan memperbesar jarak antar butiran agregat kuat desak tidak lagi di dukung oleh butir-butir agregat yang sudah menyatu dengan adanya pasta semen, tetapi oleh pasta CaCO_3 (batu kapur) yang mampu menahan kuat desak jelas berada di bawah kemampuan agregat.

Adapun modulus elastis (E_c) dan modulus kenyal (E_k) yang diperoleh dari hasil regangan pada pengujian kuat desak beton diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 5.19. Hasil Modulus Elastis (E_c) Dan Modulus Kenyal (E_k)

Variasi (%)	Modulus Elastis ($E_c = \text{Kg/cm}^2$)	Modulus Kenyal ($E_k = \text{Kg/cm}^3$)
0	447045.1198	2.16132×10^{-4}
5	374005.3696	2.50500×10^{-4}
10	430283.0032	2.25820×10^{-4}
15	459432.5664	2.66940×10^{-4}
20	378566.6206	2.13436×10^{-4}

5.4.3. Permeabilitas Beton

Berdasarkan analisa pada tabel 5.17 nilai koefisien permeabilitas untuk beton normal yaitu $9.3 \times 10^{-12} \text{ m/detik}$ dengan penetrasi air rata-rata 1.35 cm dan nilai terbesar dicapai pada beton dengan penambahan limbah *rice husk ash* 10 % yaitu $1.3 \times 10^{-14} \text{ m/detik}$ dengan penetrasi air sebesar 0.8 cm. Dari nilai koefisien tersebut maka untuk beton dengan penambahan limbah *rice husk ash* 10 % merupakan beton yang impermeabel dan dapat digunakan sebagai bangunan dalam air. Penambahan abu sekam padi pada campuran beton akan menyebabkan perbaikan pori-pori karena terjadi perubahan bentuk pori-pori permeabel (tembus air) menjadi pori-pori permeabel kecil atau dengan kata lain dari beton yang permeabel menjadi beton yang impermeabel. Ini dikarenakan pada mortar beton, semen dan air yang berupa pasta mengikat agregat halus dan kasar yang masih menyisakan rongga atau pori-pori yang tidak dapat terisi oleh butiran semen. Pada penambahan *rice husk ash* pada campuran beton akan menyebabkan perbaikan pori-pori karena terjadi perubahan bentuk pori-pori permeabel (tembus air) dari pori-pori besar menjadi pori-pori kecil. (Swamy, 1986)

Dari hasil penelitian penambahan abu sekam padi pada kuat desak dan permeabilitas beton ternyata menghasilkan suatu penelitian yang sesuai dengan tujuan dari penelitian ini, yaitu dapat mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan atau penggunaan limbah industri abu sekam padi sebagai bahan

substitusi terhadap kuat desak dan permeabilitas beton sesuai hasil-hasil yang ada diatas yang sudah diterangkan.

