

RESPON LIMBAH INDUSTRI ABU TERBANG SISA PEMBAKARAN KULIT KAYU PADA CAMPURAN BETON

Muhammad Shalahuddin

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau, Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, 28293
Email : mshall1965@gmail.com

ABSTRAK

Campuran beton menghasilkan kapur hidroksida Ca(OH)_2 sebagai material yang tidak termanfaatkan. Limbah industri abu terbang sisa pembakaran kulit kayu mengandung $\text{SiO}_2 \pm 40\%$ yang diproduksi $\pm 170 \text{ m}^3$ per hari. Penelitian ini mengamati pengaruh pemanfaatan abu terbang sisa pembakaran kulit kayu di dalam campuran beton.

Uji kuat tekan dilakukan pada 24 sampel dengan variasi 0 %, 5 %, 10 % dan 15 % abu terbang dari berat semen kemudian dilakukan perendaman 14 hari dan 28 hari. Persentase agregat pecah kasar, agregat pecah sedang, agregat pecah halus dan pasir halus pada campuran beton dihitung dengan metoda matriks. Batasan gradasi dihitung dengan persamaan abraham. Metoda matriks dan batasan abraham dipergunakan pada analisa campuran agregat pada beton agar pengaruh penambahan abu terbang semakin terdeteksi.

Penggunaan abu terbang sisa pembakaran kulit kayu dalam adukan beton sebesar 10 %, pada umur 14 hari meningkatkan kuat tekan beton sebesar 14.8 % dan pada umur 28 hari sebesar meningkatkan kuat tekan beton 0,58 %. Peningkatan kuat tekan dominan terjadi pada 5 % penggunaan abu terbang, hal ini dipengaruhi oleh reaksi antara Ca(OH)_2 dan SiO_2 yang menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang berfungsi sebagai perekat.

Key word : abraham gradation specification; compressive strength; concrete; fly ash.

PENDAHULUAN

Campuran beton yang sedang dalam proses pengerasan akan melepaskan senyawa kapur hidroksida Ca(OH)_2 sebagai bahan yang tidak berguna. Senyawa ini masih dapat dimanfaatkan untuk menambah kekuatan beton dengan menambahkan senyawa SiO_2 , hal ini terjadi karena senyawa $\text{Ca(OH)}_2 + \text{SiO}_2$ mempunyai sifat *pozzolanic*.

PT. RAPP mempergunakan kulit kayu sebagai sumber energi pembakaran. Sisa pemanfaatan energi yang berupa abu sisa pembakaran (*fly ash*) diproduksi $\pm 170 \text{ m}^3$ / hari. *Fly ash* mengandung senyawa SiO_2 lebih dari 50 %. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pemanfaatan *fly ash* secara optimal pada campuran beton. *Fly ash* diharapkan berfungsi sebagai bahan pengikat dengan senyawa kapur hidroksida juga sebagai *filler*.

LANDASAN TEORI

Konsep dasar proporsi campuran beton adalah harus lebih padat, lebih kuat dan dapat meminimalisir penggunaan semen. Beberapa metoda mencari proporsi beton :

- metoda standard (*arbitrary standard method*)
- metoda memperkecil rongga udara (*minimum voids method*)
- metoda modulus kehalusan (*fineness modulus method*)
- metoda kepadatan maksimum (*maximum density method*)
- metoda w/c (*w/c law*).

Penelitian ini menggunakan *maximum density method*. Dalam metoda ini agregat kasar dan agregat halus diasumsikan sebagai kubus yang mengisi suatu volume (Mr. Abrahm). Abrahm memberikan persamaan 1 untuk memperoleh gradasi material yang memberikan kepadatan maksimum.

$$M = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{1/2} \dots\dots\dots 1$$

dimana :

d = ukuran maksimum dari agregat halus

D = ukuran maksimum agregat kasar

M = persentase material terhalus dengan diameter d (dalam berat).

Persentase penggunaan agregat pecah kasar (CA), agregat pecah sedang (MA), agregat pecah halus (FA) dan pasir (FS) untuk campuran beton dapat dicari dengan cara grafis atau cara matematis (matriks). Akurasinya lebih baik apabila garis gradasi gabungan diperhitungkan dengan cara matriks dengan persamaan 2, agar mendekati garis gradasi hasil perhitungan *maximum density method*.

$$[B] = [A]^{-1} \times [C] \dots\dots\dots 2$$

dimana :

B = persentase pemakaian agregat kasar (CA), agregat sedang (MA), agregat halus (FA) dan pasir halus (FS).

A = persentase lolos CA, MA, FA dan FS

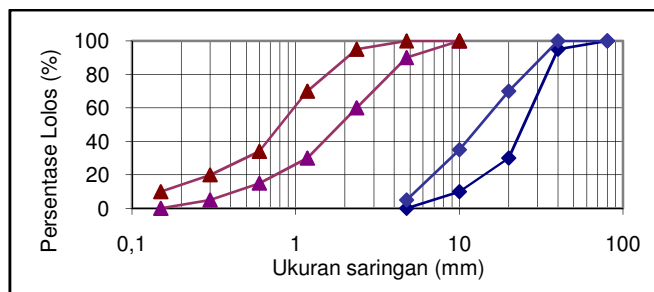
C = persentase batasan gabungan agregat yang diambil dari batasan abrahm.

$$\begin{pmatrix} CA \\ MA \\ FA \\ FS \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a1 & b1 & c1 & d1 \\ a2 & b2 & c2 & d2 \\ a3 & b3 & c3 & d3 \\ a4 & b4 & c4 & d4 \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{pmatrix}$$

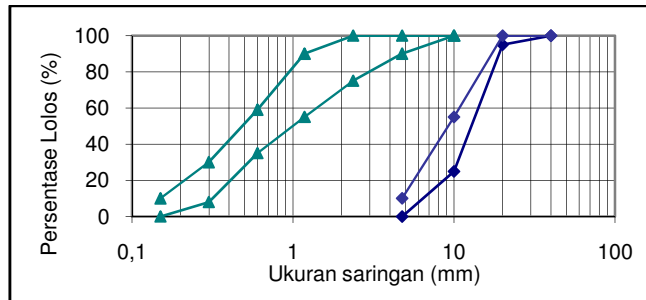
Campuran beton yang terdiri dari gabungan agregat, semen dan air pada saat proses hidrasi melepaskan karbon hidroksida Ca (OH)₂, hal ini terlihat pada bak perendaman (proses *curing*).

Agregat

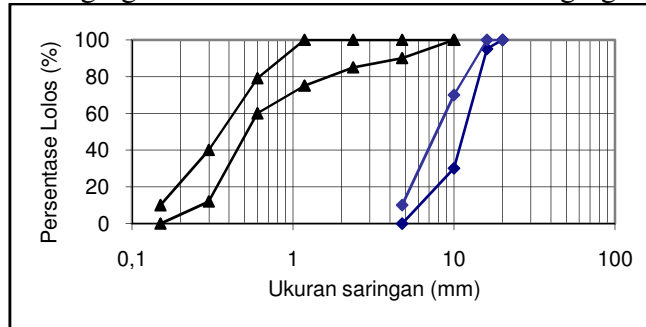
Volume agregat mencapai 75 % dari total volume beton. Pada umumnya agregat yang digunakan untuk campuran beton harus mempunyai nilai kekuatan (abrasi ≤ 40 %). Agregat dapat bergradasi menerus (*continuous graded*), bergradasi celah (*gap graded*) dan bergradasi seragam (*uniform graded*). Modulus kehalusan (*fine modulus*) agregat ditentukan sebagai jumlah persentase tertahan kumulatif dari 10 ayakan dengan batasan dari 80 mm sampai 150 micron dan dibagi dengan 100. Batasan ukuran butir agregat kasar dan halus yang digunakan untuk beton ditampilkan pada Gambar 1, 2, 3 dan 4.



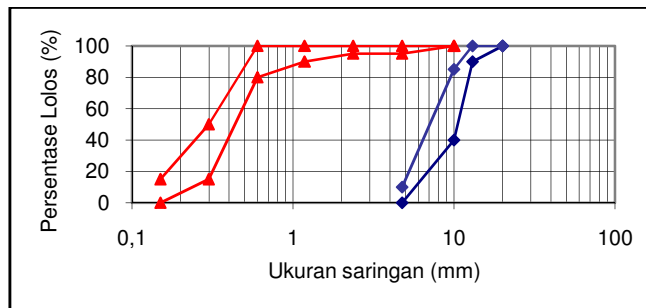
Gambar 1 Gradasi agregat kasar maksimum 40 mm dan agregat halus zone I



Gambar 2 Gradasi agregat kasar maksimum 20 mm dan agregat halus zone II

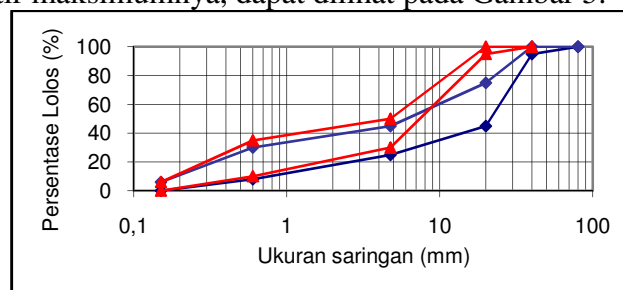


Gambar 3 Gradasi agregat kasar maksimum 16 mm dan agregat halus zone III



Gambar 4 Gradasi agregat kasar ukuran maksimum 12,5 mm dan agregat halus zone IV.

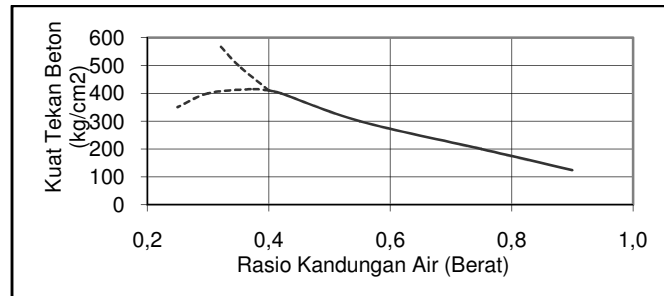
Gabungan agregat kasar dan agregat halus harus memasuki batasan gradasi sesuai dengan ukuran butir maksimumnya, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik batasan gradasi agregat gabungan untuk beton.

Air

Air ditambahkan ke dalam beton untuk proses hidrasi semen dan pelumasan agregat. Abrahm (1918), telah menemukan hubungan kekuatan beton hanya atas perbandingan air dengan semen (*w/c ratio*) yang hal ini juga mempengaruhi kemudahan kerja (*workable*) seperti Gambar 6. Powre telah menemukan bahwa semen tidak bergabung secara kimia dengan lebih dari setengah jumlah air di dalam adukan (*mix*). Semen membutuhkan 1/8 sampai 1/4 dari berat air untuk menjadikannya berhidrasi sempurna.



Gambar 6 Grafik hubungan air-semen dengan kuat tekan beton (Abrahm, 1918).

Semen

Semen adalah bahan pengikat yang diperoleh dari pembakaran bersama pada temperatur tinggi (1400 °C) material *calcareous siliceous* dan *argillaceous*, dicampur setelah di *crushing* yang menghasilkan klinker bubuk halus. Sifat-sifat dari variasi semen tergantung dari komposisi kimia, proses ini diadopsi dalam pengolahan dan derajat kehalusan. Jenis-jenis semen *Portland* berdasarkan komposisi kimianya seperti Tabel 1.

Semen terbentuk dalam ikatan ion majemuk antara lain :

- *Tri-Calcium Silicate* (3CaO, SiO₂) dengan simbol C₃S
- *Di-Calcium Silicate* (2CaOSiO₂) dengan simbol C₂S
- *Tri-Calcium Aluminate* (3CaO, Al₂O₃) dengan simbol C₃A
- *Di-Calcium Alimate Ferrite* (4CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃) dengan simbol C₄ AF.

Tabel 1. Jenis semen portland sesuai komposisi kimia

Tipe Semen	Senyawa Kimia (%)						
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO bebas	MgO bebas
Tipe I	42-67	8-31	5-14	6-12	2,4-3,4	0-1,5	0,7-3,8
Tipe II	37-55	19-39	4-8	6-16	2,1-3,4	10,1-1,8	1,5-4,4
Tipe III	34-70	0-28	7-17	6-10	2,2-4,6	0,1-4,2	1,0-4,8
Tipe IV	21-44	27-34	3-7	6-18	2,6-3,5	0-0,9	1,0-4,1
Tipe V	35-54	24-49	1-5	6-15	2,4-3,9	0,1-0,6	0,7-2,3

Sumber : AM Neville

Abu terbang (*fly ash*)

Warna abu terbang biasanya dari abu-abu sampai abu-abu kehitaman yang mempunyai berat jenis 2,15 – 2,8 (Aman, 1995). Karakteristik fisik abu terbang umumnya tergantung pada efisiensi proses pembakaran pada tempat pengolahan dan jenis bahan. Gradasi abu terbang umumnya seperti Tabel 2.

Tabel 2 Gradasi abu terbang

Ukuran Butir (mm)	Persentase Lolos (%)
0,425	100
0,2	90 – 99
0,06	60 – 96
0,02	28 – 79
0,006	10 – 45
0,002	9 – 14
0,001	0

Sumber : Clarke, 1992.

Komposisi kimia abu terbang, secara umum hampir relatif sama, namun yang membedakannya adalah persentase kandungan masing-masing unsur yang terdapat didalamnya dan kandungan tertinggi adalah silica SiO_2 , seperti Tabel 3.

Tabel 3 Komposisi abu terbang (ASTM)

Komposisi kimia abu terbang	Persentase
Silika, SiO_2	40-55
Oksida Besi, Fe_2O_3	5-10
Aluminium Oksida, Al_2O_3	20-30
esium Oksida, CaO	2-7
Sulfur Trioksida, SiO_3	0,4-2
Kalium Oksida, K_2O	1-5
Natrium Oksida, Na_2O	1-2
Magnesium Oksida, MgO	1-4
Hilang Pijar	3-12

BAHAN DAN METODA

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Fakultas Teknik Universitas Riau. Bahan untuk pengujian adalah abu terbang (*Fly Ash*) *power boiler* 1, agregat halus, agregat kasar, air dan semen. Rencana campuran beton (Lampiran) dengan data :

- disain kuat tekan beton 40 Mpa
- menggunakan semen Portland type I semen padang
- agregat pecah kasar, sedang, halus dan pasir dari sungai Kampar Bangkinang
- bahan tambah abu terbang sisa pembakaran kulit kayu dari PT. RAPP
- air tanah standar.
- faktor air semen 0,33 dan slump 0 – 10 cm.

Persentase agregat pecah kasar, agregat pecah sedang, agregat pecah halus dan pasir diperhitungkan dengan cara matriks dengan batasan garis gradasi yang dihasilkan dengan persamaan abrahm. Jumlah sampel beton 24 buah dengan variasi *fly ash* 0 %; 5 % ; 10 % dan 15 % terhadap berat semen, seperti pada Tabel 4. Perawatan beton dilakukan setelah benda uji dibuka dari cetakan, dengan cara direndam dalam air pada suhu $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ sampai saat dilakukan pengujian kuat tekan beton yaitu pada umur 14 dan 28 hari. Ini dilakukan agar proses hidrasi semen berjalan dengan baik. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dengan cara memberikan variasi peningkatan beban aksial terhadap benda uji sampai benda uji mengalami keruntuhan (*failure*).

Tabel 4 Jumlah dan komposisi benda uji

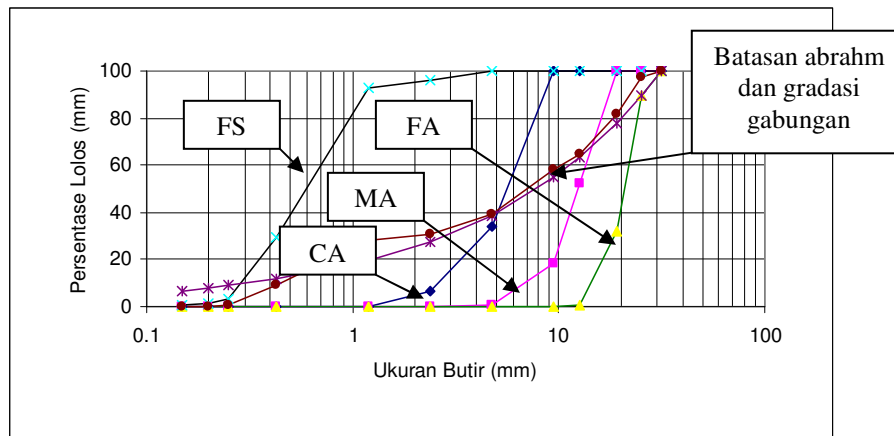
No	Persentase pemakaian <i>fly ash</i> terhadap berat semen (%)	Jumlah benda uji pada umur (hari)		Jumlah
		14	28	
1	0	3	3	6
2	5	3	3	6
3	10	3	3	6
4	15	3	3	6
Total				24

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data persentase lolos pasir FS, agregat pecah halus FA, agregat pecah sedang MA dan agregat pecah kasar CA ditampilkan pada Tabel 5 dan Gambar 7. Dari Tabel 5 dan Gambar 7 terlihat bahwa garis gradasi gabungan agregat dan garis gradasi batasan abrahm hampir berimpit, berarti bahwa gradasi gabungan berada pada kepadatan maksimum (*maximum density*).

Tabel 5. Persentase lolos masing-masing agregat serta batasan gradasi Abraham

Ukuran Saringan		Persentase lolos (%)				Batasan Abraham	Gradasi gabungan
(mm)	(inci)	CA	MA	FA	FS		
31.75	1 1/4"	100	100	100	100	100	100
25.40	1"	100	100	89.65	100	89.44	97.25
19.10	3/4"	100	100	32	100	77.56	81.90
12.70	1/2"	100	52.05	0.4	100	63.25	64.68
9.52	3/8"	100	18.25	0	100	54.76	58.35
4.76	no. 4	34.10	0.9	0	100	38.72	38.90
2.38	no. 8	6.25	0	0	96.2	27.38	30.71
1.19	no. 16	0	0	0	92.8	19.36	28.14
0.425	no. 40	0	0	0	29.2	11.57	8.85
0.250	no. 60	0	0	0	3.2	8.87	0.97
0.200	no. 80	0	0	0	1	7.93	0.30
0.149	no. 100	0	0	0	0.5	6.85	0.15



Gambar 7. Grafik gradasi material pengisi campuran beton

Hasil uji *fly ash* pada Tabel 6 terlihat bahwa nilai berat jenis *Fly ash* $> 2 \text{ gr/cm}^3$ sesuai standard ASTM C 618. Nilai penyerapan *fly ash* $< 3 \%$ sesuai dengan standard ASTM C 618.

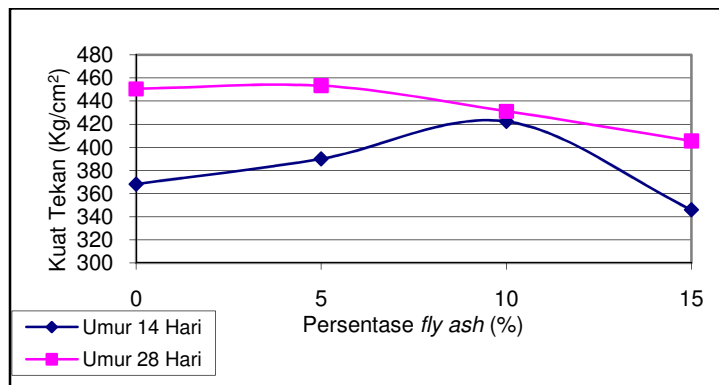
Tabel 6 Hasil uji *fly ash*

No	Pemeriksaan	<i>Fly ash</i>
1	a). Berat jenis (<i>bulk</i>)	2.05 gr/cm^3
	b). Berat jenis SSD	2.08 gr/cm^3
	c). Berat jenis semu (<i>apparent</i>)	2.12 gr/cm^3
2	Penyerapan	1.79 %

Data hasil kuat tekan beton seperti Tabel 7 dan Gambar 8.

Tabel 7 hasil uji kuat tekan beton

No	Umur (hari)	Kuat Tekan (kg/cm ²)			
		Variasi Abu Kayu (%)			
		0	5	10	15
1	14	340.9	356.4	426.2	344.8
2		453.3	437.8	542.4	356.4
3		309.9	375.8	298.3	337.0
Rata-rata		368.0	390.0	422.3	346.1
1	28	464.9	526.9	495.9	348.7
2		383.5	437.8	395.1	402.9
3		503.6	395.1	402.9	464.9
Rata-rata		450.7	453.3	431.3	405.5



Gambar 8 Hubungan persentase *fly ash* dengan kekuatan beton .

Penambahan *fly ash* sebesar 5 % dalam adukan beton :

- pada umur 14 hari, kuat tekan meningkat dari 368.0 kg/cm² menjadi 390.0 kg/cm².
- pada umur 28 hari, kuat tekan meningkat dari 450.7 kg/cm² menjadi 453.3 kg/cm².

Penambahan *fly ash* sebesar 10% dalam adukan beton :

- pada umur 14 hari, kuat tekan meningkat dari 368.0 kg/cm² menjadi 422.3 kg/cm².
- Pada umur 28 hari, kuat tekan beton menurun dari 450.7 kg/cm² menjadi 431.3 kg/cm².

Penambahan *fly ash* sebesar 15 % dalam adukan beton :

- pada umur 14 hari, kuat tekan beton menurun dari 368.0 kg/cm² menjadi 346.1 kg/cm².
- pada umur 28 hari, kuat tekan beton menurun dari 450.7 kg/cm² menjadi 405.5 kg/cm².

Dari Gambar 8 terlihat bahwa penggunaan *fly ash* dalam adukan beton sebesar 10 %, pada umur 14 hari meningkatkan kuat tekan beton sebesar 14.8 % dan pada umur 28 hari sebesar 0,58 %. Peningkatan kuat tekan dominan terjadi pada 5 % penggunaan *fly ash*, hal ini dipengaruhi oleh pemanfaatan optimal sifat *pozzolanic fly ash* (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) dengan kapur lepas (CaO) pada adukan beton terjadi pada penggunaan 5 % *fly ash*.. Abu terbang (*fly ash*) dari hasil pembakaran kayu mengandung kadar SiO₂ bereaksi dengan kapur mati Ca(OH)₂ yang merupakan hasil hidrasi antara air dan semen. Reaksi antara Ca(OH)₂ dan SiO₂

juga akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang berfungsi sebagai perekat, dengan reaksi $\text{Ca(OH)}_2 + \text{SiO}_2 \rightarrow x \text{CaO} \cdot y \text{SiO}_2 \cdot z \text{H}_2\text{O}$.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji yang dilakukan terhadap beton dengan bahan tambah abu kayu dapat disimpulkan sebagai berikut :

Penambahan abu hasil pembakaran kulit kayu sebagai pengganti sebahagian semen dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Pemakaian abu terbang sebesar 5 % pada umur 28 hari meningkatkan kuat tekan beton sebesar 0.58 %.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih kasih kepada Kepala Laboratorium uji bahan Fakultas teknik Universitas Riau dan PT. RAPP yang telah membantu untuk pengadaan *fly ash*.

Daftar Pustaka

1. **Agustiany, A.A & Bekti, N.S** 1998. *Pembuatan Beton Mutu Tinggi dengan Variasi Bahan Tambah Fly Ash, Silica Fume, dan Superplasticizer*. Skripsi S1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan. Yogyakarta : I / II.
2. **Gurcharan Singh** 1978. *Theory and Design on RCC Structures. First Edition*. Nem Chan Jain. Ajay Kumar Jain. Standard Publisher Distributors 1705-B, Nai Sarak. Delhi. 110006.
3. **Laboratorium Uji Bahan FT UNRI**, 2004. *Penuntun Praktikum Uji Bahan Teknik Sipil Universitas Riau*. Pekanbaru.
4. **Neville, A.M** 1981. *Properties of Concrete*. 3rd Edition . The English Language Book Society and Pitman, London.
5. **Nugroho, P.S** 2001. *Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Resapan dan Rembesan Pada Beton Dengan Agregat Kasar dari Kelereng 40 mm*. Indonesian Construction Directory, Volume (41) : (internet) & Development/Journal/nature fibre. Pdf.
6. **Sudarmoko**, 1995. Pengaruh Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) Pada Kuat Tekan Beton. Media Komunikasi Teknik Sipil 6 : 8 – 11.

LAMPIRAN

Tabel perencanaan campuran beton				
1	Kategori jenis struktur			
2	Kuat tekan karakteristik beton (f_c')		400	kg/cm ²
3	Standar deviasi (dengan kegagalan 5 %)		65	kg/cm ²
4	Nilai tambah ($k = 1,64$)	$1,64 \times (3)$	106,6	kg/cm ²
5	Kuat tekan rata-rata rencana	$(2) + (4)$	506,6	kg/cm ²
6	W/C (berdasarkan f_c')	(Tabel II)	0,61	
7	Slump rencana	(Tabel III)	3-10	cm
Data material				
8	Berat jenis semen		3,15	gr/cm ³
9	Berat jenis air		1	gr/cm ³
10	Ukuran maksimum agregat kasar	(Tabel IV)	20	mm
11	Specific gravity (SSD) agregat kasar		2,62	
12	Berat volume agregat kasar		1426,03	kg/m ³
13	Penyerapan air (absorpsi) agregat kasar		0,78	%
14	Kadar air agregat kasar		2,15	%
15	Specific gravity (SSD) agregat halus		2,65	
16	Modulus kehalusan agregat halus		2,83	
17	Penyerapan air (absorpsi) agregat halus		3,31	%
18	Kadar air agregat halus		4,17	%
19	Persentase udara terperangkap pada beton		1	%
Komposisi bahan				
20	Jumlah air	(Tabel A)	190	kg/m ³
21	Berat semen	$(20) / (6)$	311,5	kg/m ³
22	Persentase volume agregat kasar	(Tabel B)	70	%
23	Berat agregat kasar	$[(22) / 100 \times (12)]$	998,2	kg/m ³
24	Volume semen	$[(21) / ((8) \times 1000)]$	0,099	m ³
25	Volume air	$[(20) / ((9) \times 1000)]$	0,190	m ³
26	Volume agregat kasar	$[(23) / ((11) \times 1000)]$	0,381	m ³
27	Volume udara terperangkap	$(19) / 100$	0,010	m ³
28	Volume agregat halus	$1 - [(24)+(25)+(26)+(27)]$	0,320	m ³
29	Berat rencana agregat halus	$(15) \times (28) \times 1000$	848,31	kg/m ³
Koreksi berat bahan				
30	Koreksi air adukan dari kondisi agregat kasar	$(13) - (14)$	-1,37	%
31	Tambahan air dari kondisi agregat kasar	$(30) \times (23)/100$	-13,68	kg
32	Koreksi air adukan dari kondisi agregat halus	$(17) - (18)$	-0,86	%
33	Tambahan Air dari Kondisi Agregat halus	$(32) \times (29)/100$	-7,30	kg
Komposisi akhir untuk 1 m ³ beton				
32	Berat semen	(21)	311,48	kg
33	Berat air	$(20) + (31) + (33)$	169,03	kg
34	Berat agregat kasar	$(23) + (31)$	984,55	kg
35	Berat agregat halus	$(29) + (33)$	841,02	kg