

## BAB VI

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 6.1 Hasil

##### 6.1.1 Pemeriksaan Agregat Halus dan Kasar

###### a. Modulus Halus Butir

Dari pemeriksaan yang dilakukan di laboratorium diperoleh data sebagai berikut :

**Tabel 6.1** Data pemeriksaan modulus halus butir pasir

Saringan		Berat tertinggal gram		Berat tertinggal gram		Berat tertinggal gram	
No	Ø lubang mm	I	II	I	II	I	II
1	4,75	84,7	21,5	3,388	1,433	3,388	1,433
2	2,36	150,4	50,5	6,016	3,367	9,404	4,8
3	1,18	385,7	221,5	15,428	14,764	24,832	29,567
4	0,600	688	532	27,52	35,467	52,354	55,034
5	0,300	475,5	365	19,02	24,333	71,372	79,367
6	0,150	373,5	190	14,94	12,677	86,312	92,034
7	Pan	342,2	119,5	13,688	7,967	----	----
						247,66	252,23

Jumlah rata-rata 250,01

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{250,01}{100} \times 100\% = 2,5$$

### b. Berat Jenis

Dari pemeriksaan yang dilakukan di laboratorium diperoleh data sebagai berikut :

**Tabel 6.2** Data pemeriksaan berat jenis agregat halus

	Benda Uji I	Benda Uji II
Berat jenis (BJ)		
$\frac{W}{V_2 - V_1}$	$400/160 = 2,5$	$400/165 = 2,42$
Berat jenis rata-rata	2,5	

**Tabel 6.3** Data pemeriksaan berat jenis agregat kasar

	Benda Uji I	Benda Uji II
Berat jenis (BJ)		
$\frac{W}{V_2 - V_1}$	$400/150 = 2,67$	$400/160 = 2,5$
Berat jenis rata-rata	2,59	

### 6.1.2 Kuat Desak

Nilai kuat desak *paving block* yang dihasilkan pada saat pengujian kemudian dihitung untuk mengetahui kuat desak rata-rata ( $\sigma'_{bm}$ ). Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel 6.4 dan 6.5 berikut ini :

**a. Pengujian kuat desak pada umur 7 hari**

Dari pemeriksaan yang dilakukan di laboratorium diperoleh data sebagai berikut :

**Tabel 6.4 Analisis pengujian kuat desak pada umur 7 hari (kg/cm<sup>2</sup>)**

Kreteria	Hasil pengujian kuat desak pada umur 7 hari				
Variasi	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %
$\sigma'b$	268.924	182.891	208.226	264.851	253.93
	265.505	184.72	216.849	243.052	268.52
	261.715	176.617	219.419	239.163	268.66
	271.192	188.489	213.397	230.881	261.58
	282.452	191.829	210.81	229.053	266.79
	281.095	178.747	218.251	239.044	258.87
	260.153	189.646	216.418	228.171	266.17
	271.55	184.263	198.508	227.723	252.72
	271.865	175.913	210.81	238.091	263.93
	262.631	184.08	210.396	231.689	266.26
	248.755	190.116	220.731	240.811	250.24
	249.004	175.743	213.93	229.053	260.41
		179.372		253.984	264.84
Total	3194.84	2382.43	2557.75	3095.57	3402.9
$\sigma'bm$	266.237	183.264	213.146	238.121	261.754

### b. Pengujian Kuat Desak umur 28 Hari

Dari pemeriksaan yang dilakukan di laboratorium diperoleh data sebagai berikut :

**Tabel 6.5** Analisis pengujian kuat desak pada umur 28 hari ( $\text{kg/cm}^2$ )

Kreteria	Hasil pengujian kuat desak pada umur 28 hari				
Variasi	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %
$\sigma^b$	356.43	296.46	341.58	361.236	369.808
	342.43	309.41	328.55	339.776	377.919
	362.1	297.02	318.19	368.71	372.644
	352.55	316.2	332.51	337.633	358.911
	342.69	308.33	327.9	344.059	354.657
	369.44	298.31	333.67	334.816	383.085
	347.56	316.24	337.3	351.476	364.215
	368.71	297.47	334.82	341.916	356.253
	371.28	302.88	327.21	322.255	370.726
	347.91	293.09	347.56	353.425	361.236
	342.35	303.24	332.5	339.885	350.045
	364.64	320.26	350.08	347.91	381.188
	359.62	306.92	320.26	356.427	372.018
	349.65		324.25		
Total	4977.3	3965.8	4656.4	4499.52	4772.7
$\sigma^b m$	355.524	305.062	332.560	346.1169	367.130

Detail proses perhitungan ini dapat dilihat pada tabel lampiran 6 sampai dengan tabel lampiran 25.

## 6.2 Pembahasan

Pada dasarnya *paving block* yang baik adalah *paving block* yang mempunyai kuat desak tinggi, kuat lekat tinggi, rapat air, susutnya kecil, tahan aus, tahan terhadap cuaca dan juga tahan terhadap zat kimia yang akan merusak mutu *paving block*. Apabila kuat desak tinggi, maka sifat dan karakteristik lainnya cenderung baik, maka peninjauan secara kasar mutu *paving block* biasanya hanya ditinjau pada kuat desaknya saja. Kuat desak *paving block* sangat dipengaruhi oleh hal sebagai berikut :

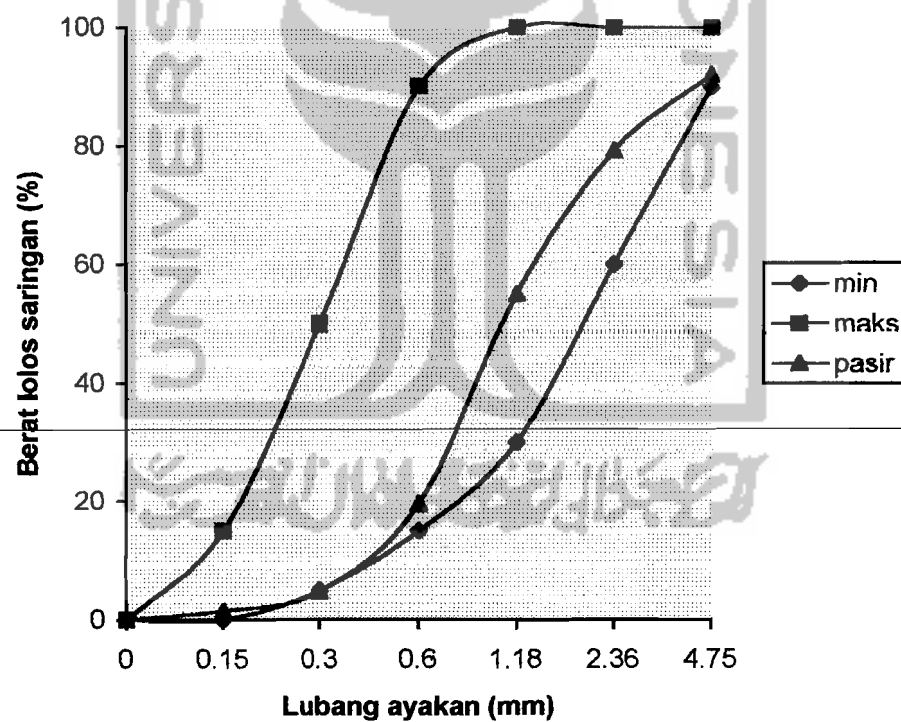
1. sifat – sifat dari bahan penyusun
2. perbandingan dari bahan – bahan
3. cara pengadukan dan penuangan
4. cara pemadatan
5. perawatan selama proses pengerasan
6. umur *paving block*

Dari hal – hal yang telah disebutkan diatas, pembahasan penelitian ini adalah pada komposisi bahan penyusun *paving block*, yaitu mengenai sifat – sifat dari bahan penyusun dan perbandingan dari bahan – bahannya. Karena pada cara pengadukan, penuangan dan cara pemadatan sama yaitu dengan mesin cetak berkekuatan 3 ton pada tiap sampel, sedangkan pada cara perawatan dan umur *paving block* juga dianggap sama yaitu dengan perawatan penyiraman secara periodik dan diuji pada umur *paving block* 7 hari dan 28 hari.

Hasil penelitian diatas memperlihatkan pengaruh penggantian semen dengan abu ampas tebu terhadap kenaikan kuat desak *paving block* pada proporsi tertentu. Penggantian sebagian semen dengan abu ampas tebu menghasilkan kuat desak *paving block* yang lebih tinggi dari pada *paving block* tanpa abu ampas tebu. Hal ini diakibatkan oleh komposisi variasi campuran bahan susun *paving block*, pembahasan terhadap hasil penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut :

### 6.2.1 Agregat Kasar dan Halus

#### a. Modulus Halus Butir



**Gambar 6.1** Grafik Gradasi pasir alam asal sungai Boyong

Modulus halus butir ( *fineness modulus* ) ialah suatu indek yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir – butir agregat. Modulus halus butir ( mhb ) ini didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir – butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan dan kemudian dibagi seratus. Makin besar nilai modulus halus butir menunjukkan bahwa makin besar butir – butir agregat.

Butir – butir agregat mempengaruhi kekuatan *paving block* karena makin besar modulus halus maka kebutuhan pasta semen akan semakin kecil. Pada umumnya agregat halus mempunyai modulus halus butir antara 1,5 sampai 3,8. Dari hasil pemeriksaan yang terlihat pada tabel 6.1 diatas diperoleh modulus halus butir untuk agregat halus adalah 2,5. Hal ini disebabkan karena pada distribusi ukuran pasir di setiap ayakan pada saat penelitian. Jika semakin kecil ukuran ayakan, semakin banyak pasir yang tertahan pada setiap ayakannya, maka menghasilkan Mhb yang kecil sehingga dapat dikatakan pasir halus. Demikian pula sebaliknya, bila jika semakin kecil ukuran ayakan, semakin sedikit pasir yang tertahan pada setiap ayakannya, maka menghasilkan Mhb yang besar. Dengan nilai mhb sebesar 2,5 maka banyak pasir yang tertahan pada ukuran ayakan pertengahan.

**b. Berat jenis agregat**

Berat jenis agregat ialah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume dan suhu yang sama. Agregat dapat dibedakan berdasarkan berat jenisnya yaitu :

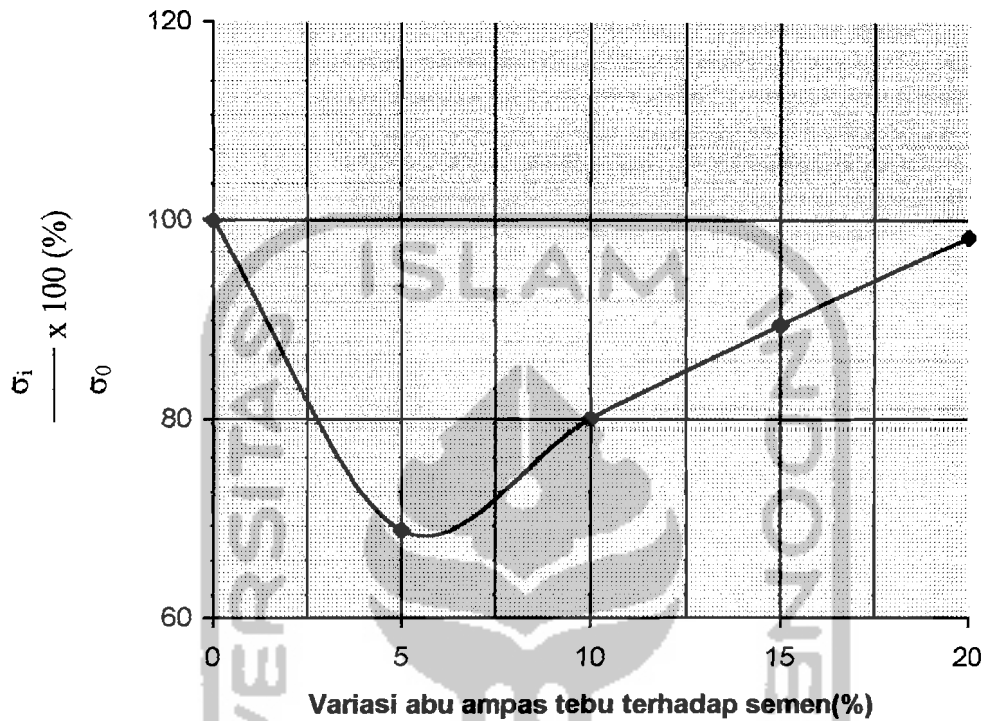
1. agregat normal yaitu agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7
2. agregat berat mempunyai berat jenis lebih dari 2,7
3. agregat ringan mempunyai berat jenis kurang dari 2,5

Dari tabel 6.2 terlihat besarnya berat jenis agregat halus adalah 2,5 sehingga termasuk dalam agregat normal dan pada tabel 6.3 terlihat bahwa agregat kasar berat jenisnya adalah 2,59 sehingga termasuk juga dalam agregat normal. Hal ini disebabkan karena agregat ini mempunyai permukaan yang berpori. Dengan adanya pori maka agregat ini mempunyai permukaan yang cukup kasar dan mempunyai berat yang cukup ringan dan mudah untuk menyerap air. Permukaan yang cukup kasar pada agregat mempunyai keuntungan karena dapat meningkatkan rekatan agregat dengan semen sampai 1,75 kali dan kuat tekan betonnya dapat meningkat sekitar 20 persen



### 6.2.2 Kuat Desak

#### a. Laju kuat desak rata – rata *paving block* pada umur 7 hari

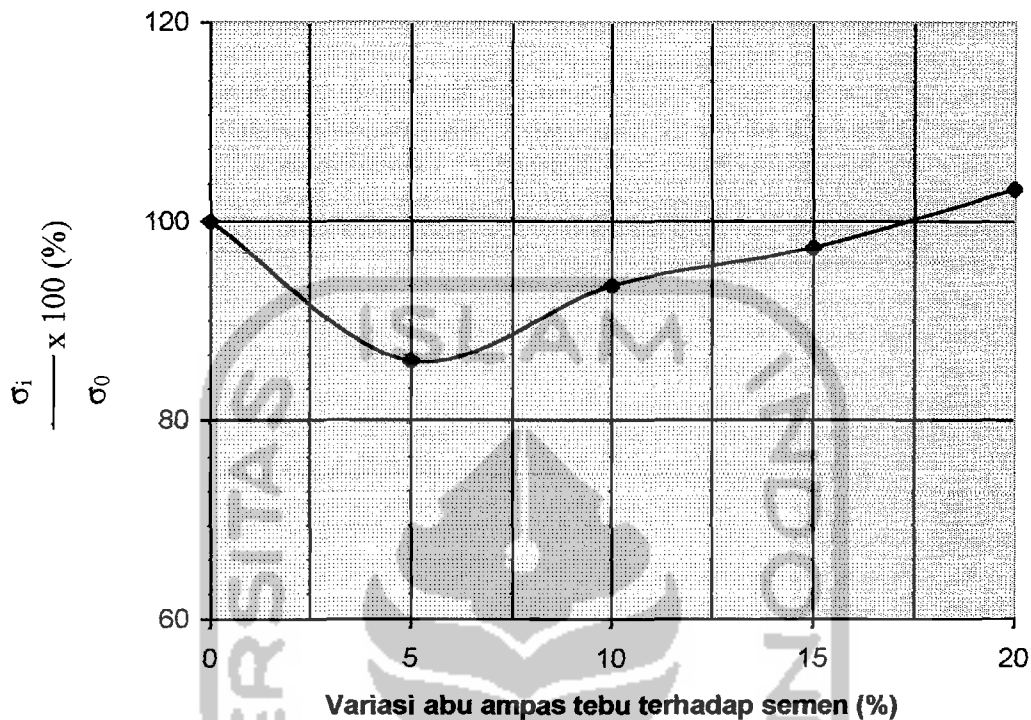


**Gambar 6.2** Grafik Prosentase kuat desak rata – rata ( $\sigma'_{bm}$ ) terhadap variasi pada pengujian umur 7 hari.

Pengujian kuat desak *paving block* yang diberikan pada 5 variasi ( 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, dan 20 % ) benda uji berumur 7 hari, diperoleh hasil kuat desak rata – rata tertinggi adalah pengganti semen sebesar 0 % ( tanpa abu ampas tebu ). Dari data yang ditunjukkan pada tabel 6.1 dan gambar 6.2 menunjukkan bahwa nilai kuat desak rata- rata pada variasi 0 % sebesar

266,237 kg/cm<sup>2</sup> adalah nilai kuat desak yang paling tinggi dibanding nilai kuat desak pada variasi 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % yang masing masing sebesar 183,264 kg/cm<sup>2</sup>, 213,146 kg/cm<sup>2</sup>, 238,121 kg/cm<sup>2</sup>, dan 261,764 kg/cm<sup>2</sup>. Bila dibandingkan dengan nilai kuat desak pada variasi 0 % sebesar 100 %, maka kuat desak rata – rata yang terjadi pada variasi 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % masing - masing adalah sebesar 68,83 %, 80,06 %, 89,44 % dan 98,32 %. Sehingga terjadi penurunan kuat desak *paving block* sebesar 31,17%, 19,94%, 10,56% dan 1,68%. Kecilnya penurunan pada variasi 20% menunjukkan bahwa prosentase abu ampas tebu pada variasi tersebut sudah dapat mendekati kuat desak *paving block* tanpa abu ampas tebu. Rendahnya nilai kuat desak rata – rata pada variasi 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % disebabkan karena pada pengujian umur 7 hari ini penggunaan abu ampas tebu sebanyak 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % sebagai pengganti sebagian dari semen, belum dapat bereaksi dengan kapur bebas hasil reaksi air dengan semen menjadi bahan ikat dan kurang rapat dalam mengisi rongga – rongga di antara butiran agregat.

b. Laju kuat desak rata – rata *paving block* pada umur 28 hari



**Gambar 6.3** Grafik Prosentase kuat desak rata – rata ( $\sigma^3_{bm}$ ) terhadap variasi pada pengujian umur 28 hari.

Pengujian kuat desak *paving block* yang diberikan pada 5 variasi ( 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, dan 20 % ) benda uji berumur 28 hari, diperoleh hasil kuat desak rata – rata tertinggi adalah pengganti semen sebesar 20 % ( dengan abu ampas tebu ). Dari data yang ditunjukkan pada tabel 6.2 dan gambar 6.3 menunjukkan bahwa nilai kuat desak rata- rata pada variasi 20 % sebesar 367,130 kg/cm<sup>2</sup> adalah nilai kuat desak yang paling tinggi dibanding nilai

kuat desak pada variasi 0 %, 5 %, 10 %, dan 15 % yang masing - masing sebesar 355,524 kg/cm<sup>2</sup>, 305,662 kg/cm<sup>2</sup>, 332,560 kg/cm<sup>2</sup>, dan 346,1169 kg/cm<sup>2</sup>. Bila dibandingkan dengan nilai kuat desak pada variasi 0 % sebesar 100 %, maka kuat desak rata – rata yang terjadi pada variasi 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % masing - masing adalah sebesar 85,98 %, 93,54 %, 97,35 % dan 103,26 %. Sehingga terjadi peningkatan kuat desak *paving block* pada variasi 20 % sebesar 3,26 % dan terjadi penurunan pada variasi 5 %, 10 %, dan 15 % sebesar 14,02 %, 6,46 % dan 2,65 %. Prosentase penurunan yang tidak terlalu besar dibanding dengan pada pengujian umur 7 hari disebabkan umur 28 hari merupakan batas maksimum kekuatan desak *paving block* serta perawatan *paving block* selama 28 hari yang baik. Selama masa perawatan, abu ampas tebu yang telah menjadi perekat setelah bereaksi dengan kapur bebas sisa dari hidrasi semen, mampu mengikat agregat dengan kuat dan sekaligus menjadi pengisi diantara rongga – rongga yang ada sehingga campuran menjadi lebih padat. Dari hasil pengujian *paving block* umur 28 hari ini dapat dilihat bahwa pada variasi 15% masih dapat diambil manfaat dalam pengurangan penggunaan semen, meskipun terjadi penurunan kuat desak sebesar 2,65%. Sedangkan pada variasi 20% mampu memberikan penghematan penggunaan semen dan dapat menaikkan kuat desak sebesar 3,26%.

### c. Mekanisme Pengaruh Abu Ampas Tebu

Terjadinya kenaikan kuat desak *paving block* disebabkan oleh adanya abu ampas tebu, mekanisme terjadinya pengaruh dari abu ampas tebu sebagai berikut :

#### 1. Mekanisme reaksi pozzolanik abu ampas tebu

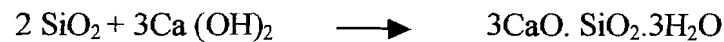
Berlangsungnya proses reaksi abu ampas tebu dalam pengikatan kapur bebas sisa dari hidrasi semen sangatlah sulit untuk diketahui secara teliti, namun secara sederhana reaksi tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



Dari persamaan diatas keduanya menghasilkan  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  disingkat  $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$  yang disebut dengan *Tobermorite* dan sisa reaksi berupa  $\text{Ca} ( \text{OH} )_2$  ( kalsium hidroksida ). *Tobermorite* adalah pasta semen yang terdiri dari gel ( suatu butiran sangat halus hasil hidrasi, memiliki luas permukaan yang besar) dan mempunyai kemampuan seperti perekat, sedangkan kalsium hidroksida merupakan sisa semen yang tidak bereaksi. ( Kardiono, 1995 )

Jika abu ampas tebu yang mengandung silika (  $\text{SiO}_2$  ) 73,03 % dimasukkan dalam adukan beton, maka bahan ini akan bereaksi dengan kalsium hidroksida (  $\text{Ca} ( \text{OH} )_2$  ).

Reaksinya adalah sebagai berikut :

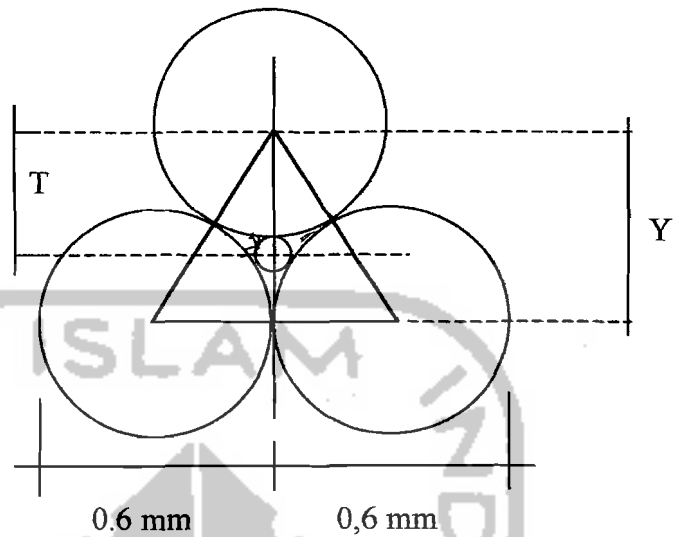


Persamaan diatas menghasilkan *Tobermorite* baru, dengan demikian penambahan abu ampas tebu mengakibatkan hilangnya kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) yang merupakan unsur terlemah dalam beton, sehingga akan dihasilkan *paving block* yang bersifat massif, padat dan kekerasannya meningkat sehingga mampu meningkatkan kuat desaknya.

2. Mekanisme abu ampas tebu sebagai *filler*

Selain disebabkan oleh reaksi pozzolanik abu ampas tebu, mekanisme kedua yang menyebabkan penambahan kekuatan desak *paving block* adalah terisi pori – pori yang sebelumnya terisi air yang terperangkap, sedangkan pada *paving block* tanpa abu ampas tebu, pori – pori yang berisi air akan menjadi porous. Keadaan ini menyebabkan kekuatan *paving blok* lebih rendah dibanding *paving block* yang menggunakan abu ampas tebu.

Pori yang terjadi dapat dijelaskan pada gambar 6.4 berikut ini :



**Gambar 6.4** Butiran pada kelompok agregat

Butiran yang besar lolos saringan ukuran 0,6 mm menyisakan pori – pori pada ikatan butiran, sehingga dapat dihitung kemungkinan besarnya butiran yang mampu mengisi pori sebagai berikut :

$$\tan 60 = Y / 0,3 \text{ mm}$$

$$Y = 0,52 \text{ mm}$$

$$T = 0,52 \times 2 / 3$$

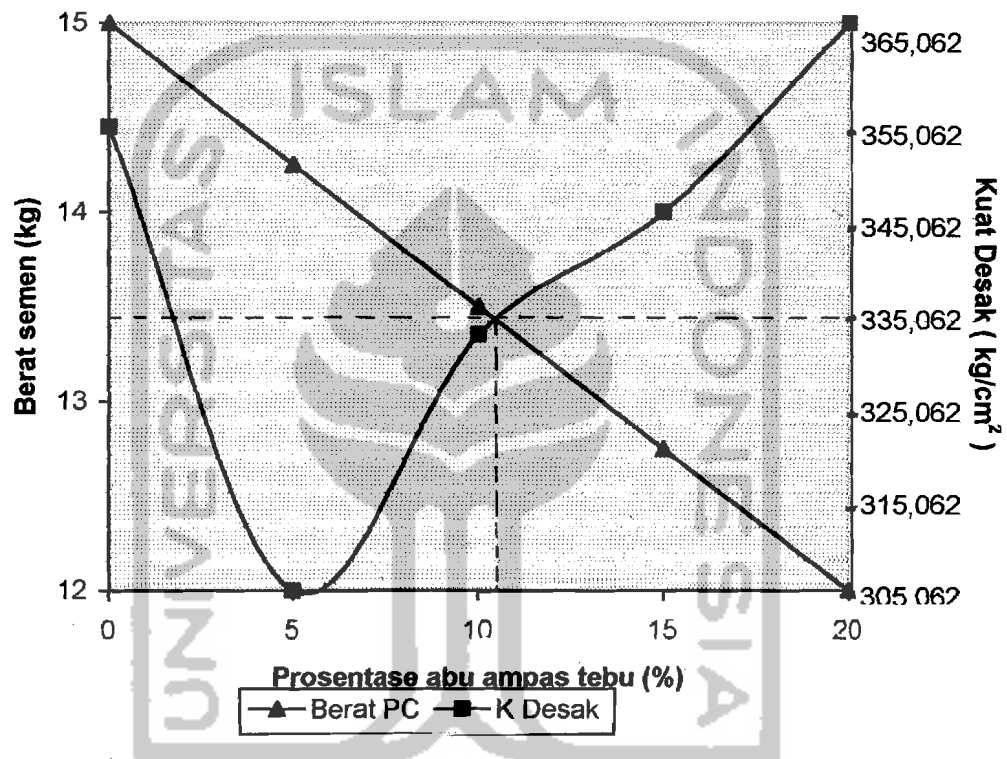
$$= 0,347 \text{ mm}$$

$$\text{Ukuran butiran} = ( 0,347 - 0,3 ) \times 2$$

$$= 0,094 \text{ mm}$$

Sehingga pori – pori yang ada diantara butiran agregat dapat diisi dengan abu ampas tebu yang lolos ayakan 0,094 mm.

### 6.2.3 Perbandingan prosentase abu ampas tebu terhadap berat semen dan terhadap kuat desak *paving block*.



Gambar 6.5 Grafik perbandingan variasi terhadap berat semen dan terhadap kuat desak

Pada gambar 6.5 diatas dapat dilihat bahwa Kuat desak pada variasi 0 % sampai dengan 5 % terjadi penurunan kuat desak 50,462 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan mulai pada variasi 5 % sampai dengan variasi 10 %, 15 %, dan 20



% terjadi peningkatan kuat desak secara bertahap sebesar 27,498 kg/cm<sup>2</sup>, 13,5569 kg/cm<sup>2</sup>, dan 21,0131 kg/cm<sup>2</sup>. Kedua garis yang dihasilkan oleh grafik perbandingan variasi komposisi campuran terhadap berat semen dan grafik perbandingan variasi komposisi campuran terhadap kuat desak terjadi suatu titik potong. Kedua garis ini bertemu pada berat semen sebesar 13,425 kg, prosentase abu sebesar 10,5 % dan kuat desak sebesar 335,062 kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengurangi semen sebesar 10,5 % menjadi 13,425 kg yang digantikan dengan abu ampas tebu dapat menghasilkan kuat desak *paving block* sebesar 335,062 kg/cm<sup>2</sup>.

Bila dibandingkan dengan *paving block* tanpa abu ampas tebu yang mempunyai kuat desak sebesar 355,524 kg/cm<sup>2</sup> maka, kuat desak *paving block* dengan abu ampas tebu pengganti semen sebesar 10,5 %, terjadi penurunan sebesar 20,462 kg/cm<sup>2</sup> dan penghematan semen sebanyak 1,575 kg. Walaupun terjadi penghematan semen sebesar 1,575 kg yang digantikan dengan abu ampas tebu tetapi biaya pengolahan untuk menghasilkan abu ampas tebu yang mempunyai kandungan silika yang optimal memerlukan biaya yang cukup besar. Demikian pula dengan kuat desaknya, lebih kecil dari *paving block* tanpa abu ampas tebu. Sehingga dalam hal ini *paving block* tanpa abu ampas tebu lebih baik dari *paving block* dengan abu ampas tebu pengganti semen sebesar 10,5 % karena mempunyai biaya produksi yang lebih kecil dan mempunyai kuat desak yang lebih besar.