

## PENGARUH PEMANFAATAN ABU AMPAS TEBU SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN DALAM CAMPURAN BETON DITINJAU TERHADAP KUAT TARIK LENTUR DAN MODULUS ELASTISITAS

Gerry Phillip Rompas,  
J.D. Pangouw, R. Pandaleke, J.B. Mangare  
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi  
Email: gerry\_lee89@yahoo.com

### ABSTRAK

*Abu ampas tebu (AAT) yang berasal dari PT. PG Tulangpohula Gorontalo merupakan limbah yang memiliki kandungan silikat sebesar 68,5 %. Penelitian terhadap AAT dilakukan sebagai bahan substitusi parsial semen dengan prosentase secara berturut-turut 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% terhadap berat semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh AAT terhadap kuat tarik lentur dan modulus elastisitas. Penggunaan air untuk campuran beton dalam penelitian ini dibuat sama untuk setiap prosentase AAT. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi prosentase AAT maka semakin rendah workability beton segar. Penggunaan AAT tidak mempengaruhi peningkatan kuat tarik lentur tetapi memberi peningkatan pada modulus elastisitas dan kuat tekan. Modulus elastisitas beton dengan AAT lebih besar dari beton tanpa AAT kecuali pada prosentase 15%. Kuat tekan yang diperoleh melebihi kuat tekan yang direncanakan dan peningkatan terbesar terjadi pada Prosentase 5%. secara keseluruhan AAT dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi parsial semen dalam campuran beton dengan prosentase optimum pada prosentase 5% berdasarkan kekuatan dan workabilitynya.*

**Kata kunci:** ampas tebu, kuat tarik lentur, modulus elastisitas, prosentase optimum

### PENDAHULUAN

Dewasa ini perkembangan konstruksi di Indonesia semakin meningkat. Menurut artikel Kementerian Perindustrian Republik Indonesia akibat terjadinya peningkatan pembangunan konstruksi beton maka permintaan terhadap kebutuhan semen juga mengalami peningkatan bahkan konsumsi semen mencapai 48 juta ton pada tahun 2011 atau naik 17,7% dari tahun 2010. Kebutuhan permintaan semen yang tinggi tidak diimbangi dengan adanya produksi semen yang berimbang sehingga Indonesia masih menggunakan semen impor untuk memenuhi kebutuhan pembangunan di Indonesia. Menjawab kebutuhan ini maka perlu dipikirkan suatu alternatif bahan pengganti semen dalam sebuah konstruksi beton untuk dapat mengurangi pemakaian semen.

PT PG Gorontalo merupakan pabrik gula yang juga memasok kebutuhan gula di Indonesia. Limbah ampas tebu yang dihasilkan adalah 1,5 m<sup>3</sup>/jam. Limbah yang dihasilkan hanya dihampar di pekarangan

dan tidak dimanfaatkan sehingga dapat mencemari udara karena ukurannya yang halus sehingga muda berterbangan. Dari hasil pengujian oleh Balai Riset dan Standarisasi Industri Manado di peroleh kandungan silikat abu ampas tebu sebesar 68,5% sehingga memiliki sifat *pozzolan*. Menurut standar ASTM C 125-07 (2007), *pozzolan* ialah bahan yang mempunyai silika atau silika alumina yang memiliki sedikit atau tidak ada sifat semen tetapi apabila dalam bentuk butiran yang halus dan dengan kehadiran kelembaban, bahan ini dapat bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu biasa untuk membentuk senyawa bersifat semen. Dengan ukuran butiran yang halus dan kandungan silikat yang tinggi maka limbah ampas tebu dapat di manfaatkan sebagai bahan pengganti semen. Pemanfaatan limbah abu ampas tebu sebagai bahan pengganti semen juga mengurangi pencemaran lingkungan karena berkurangnya emisi gas rumah kaca khususnya CO<sub>2</sub> akibat produksi semen.

Dengan adanya pemanfaatan abu ampas tebu(AAT) sebagai substitusi parsial semen diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton khususnya kekuatan tarik lentur yang pada dasarnya relatif kecil sehingga dapat mengurangi retak-retak pada beton serta meningkatkan harga modulus elastisitas yang berpengaruh terhadap kekakuan struktur. Selain itu dapat mengurangi biaya pembangunan konstruksi beton khususnya pada daerah disekitar pabrik.

### Perumusan Permasalahan

Dari penelitian ini akan dilihat pengaruh abu ampas tebu terhadap sifat mekanik beton yang dibatasi pada kuat tarik lentur dan modulus elastisitas. Selain itu berapakah prosentase optimal dari pemanfaatan abu ampas tebu sebagai substitusi parsial semen pada campuran beton.

### Pembatasan Masalah

Kegiatan penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

1. Bahan dasar pembentuk beton sebagai berikut:
  - a. Semen jenis yang digunakan adalah Semen Portland merek Tonasa
  - b. Agregat halus yaitu pasir alam yang berasal dari Girian
  - c. Agregat kasar yaitu batu pecah dari Tateli
  - d. Air yang di gunakan berasal dari sumur bor yang berada di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi
2. Bahan pengganti berupa abu ampas tebu (AAT) yang berasal dari limbah industri dari Pabrik Gula di Tulangohula, Gorontalo. AAT yang digunakan dibakar kembali dengan suhu lebih dari 600°C. AAT dijadikan sebagai substitusi parsial semen pada beton dengan prosentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dari berat semen dan lolos ayakan no. 200
3. Rancangan campuran di menggunakan metode ACI 211.1.91 termodifikasi dengan kuat tekan rencana 30 MPa
4. Nilai Faktor Air Semen (FAS) semua campuran beton dengan menggunakan AAT dipertahankan sesuai dengan kondisi FAS pada beton tanpa AAT
5. Dalam penelitian ini menggunakan benda uji Balok 10 x 10 x 50 cm dan silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.
6. Hal-hal yang diuji

- Kekuatan tarik lentur dengan menggunakan benda uji Balok 10 x 10 x 50 cm pada umur beton 14 dan 28 hari.
- Modulus Elastisitas dengan menggunakan benda uji silinder 10/20 cm pada umur beton 28 hari.
- Pengujian juga dilakukan untuk mendapatkan hasil kuat tekan menggunakan benda uji silinder 10/20 cm pada umur 28 hari

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh abu ampas tebu sebagai substitusi parsial semen pada beton terhadap kuat tarik lentur
2. Mengetahui pengaruh abu ampas tebu sebagai substitusi parsial semen pada beton terhadap modulus elastisitas

### LANDASAN TEORI

#### Abu Ampas Tebu (AAT)

Abu ampas tebu adalah abu yang diperoleh dari ampas tebu yang telah diperas niranya dan telah melalui proses pembakaran pada ketel-ketel uap di mana ampas tebu ini digunakan sebagai bahan bakar pada ketel uap di pabrik PT PG Tulangohula Gorontalo. Ketel uap merupakan sumber pembangkit tenaga untuk menggerakkan alat penggilingan tebu.

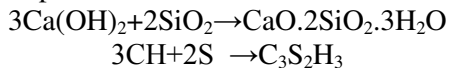
Adapun proses terjadinya abu ampas tebu adalah sebagai berikut :

- Setelah tebu ditebang kemudian diangkut ke pabrik gula.
- Batang-batang tebu tersebut kemudian digiling untuk dikeluarkan air gulanya sehingga tersisa ampas tebu yang dalam keadaan kering.
- Ampas tebu ini kemudian dengan peralatan mekanik diangkut ke dapur pembakaran ketel-ketel uap.
- Apabila ampas tebu tersebut telah terbakar halus/ habis abu tersebut dikeluarkan dari dapur pembakaran untuk kemudian dibuang. Abu inilah yang merupakan limbah yang akan dimanfaatkan sebagai substitusi parsial semen dalam campuran beton.

Abu ampas tebu yang dihasilkan harus dibakar kembali dengan suhu pembakaran lebih dari 600°C sehingga abu ampas tebu mengalami perubahan warna dari yang

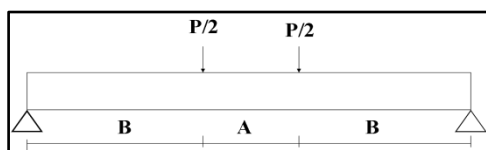
semula berwarna hitam karena masih mengandung karbon berubah warna menjadi cokelat agak kemerahan di mana dalam keadaan ini abu ampas tebu memiliki kandungan silikat yang tinggi. Kemudian abu yang telah dibakar diayak pada ayakan no.200 untuk memperoleh ukuran butiran yang sama dengan semen. dengan butiran partikel yang halus maka hidrasi akan semakin cepat, karena hidrasi dimulai dari permukaan butir.

Saat awal pencampuran beton maka semen yang bercampur dengan air akan mengalami reaksi hidrasi awal di mana senyawa  $C_3S$  yang bereaksi dengan  $H_2O$  akan menghasilkan gel perekat yaitu  $C_3S_2H_3$  yang merupakan senyawa yang mempengaruhi kekuatan terbesar beton dan juga akan melepaskan kapur  $Ca(OH)_2$  yang tidak dikehendaki oleh beton yang telah mengeras karena tidak menambah kekuatan beton dan akan menimbulkan bintik-bintik putih pada permukaan beton. Dengan adanya abu ampas tebu yang mengandung  $SiO_2$  yang digunakan pada campuran beton kemudian akan bereaksi dengan kapur  $Ca(OH)_2$  yang dibebaskan dari reaksi hidrasi antara semen dengan air sehingga menghasilkan senyawa  $C_3S_2H_3$  yang berfungsi sama seperti semen sebagai perekat sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan reaksi berikut.



**Kekuatan Tarik Lentur Beton**

Kuat tarik lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya, sampai benda uji patah. Sistem pembebanan pada pengujian tarik lentur yaitu benda uji dibebani sedemikian rupa sehingga hanya akan mengalami keruntuhan akibat lentur murni (*sistem two point loading*).



Gambar 1 Sistem Pembebanan Dua Titik

kekuatan tarik lentur ( $f_r$ ) dapat dihitung dengan rumus:

$$f_r = (6 \cdot Mu) / (b \cdot h^2) \tag{1}$$

Dimana :

- $b$  = lebar penampang balok (mm)
- $h$  = tinggi penampang balok (mm)
- $Mu$  = Momen maksimum yang terjadi (N mm)

dan nilai  $Mu$  didapat dari

$$Mu = P/2 \times B \tag{2}$$

**Modulus Elastisitas Beton**

Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Menurut ASTM C 496-94(2) dari hasil pengujian di laboratorium menetapkan modulus elastisitas sebagai rasio tegangan saat mencapai 40 % dari tegangan runtuh terhadap regangan yang bersesuaian dengan tegangan pada kondisi tersebut. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Dari pengujian tekan silinder beton 15/30 dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus ASTM C 496-94(2) sebagai berikut :

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \tag{3}$$

dimana :

$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

$\sigma_2$  = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (MPa)

$\sigma_1$  = Tegangan pada saat nilai kurva regangan  $\epsilon_1$  (MPa)

$\epsilon_2$  = nilai kurva regangan yang terjadi pada saat  $\sigma_2$

$\epsilon_1$  = regangan sebesar 0,00005

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.5 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton dengan mempertimbangkan unsur berat isi beton, maka :

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \tag{4}$$

Dalam ACI 363-92 “*State of The Art Report on High Strength Concrete*” untuk beton mutu  $21 \text{ MPa} < f_c < 83 \text{ MPa}$  adalah:

$$E_c = 3320 \sqrt{f_c'} + 6900 \tag{5}$$

**Kuat Tekan Beton**

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat desak beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kekuatan desak beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari air semen merupakan faktor utama dalam menentukan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatan desaknya. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan *workability* akan tetapi menurunkan kekuatan. Selain itu juga ditentukan oleh kecepatan pembebanan serta kondisi pada saat pembebanan.

Nilai kekuatan beton dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$f_{cr} = \frac{P}{A} \tag{6}$$

dimana :

- $f_{cr}$  = kuat tekan beton (MPa)
- P = beban runtuh yang di terima benda uji (N)
- A = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material dan Struktur Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. Sebelum dilakukan pembuatan benda uji terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan dan pemeriksaan fisik material. Persiapan material dilakukan untuk memisahkan kotoran dan lumpur dari material agregat yang akan digunakan serta penyimpanan semen di tempat yang tidak lembab dan kering serta aman dari gangguan. Sedangkan bahan substitusi parsial semen yang akan digunakan adalah abu ampas tebu(AAT) yang diambil dari PT PG Tulangohula Gorontalo. Abu ampas tebu lalu diproses melalui tahapan berikut:

- Abu ampas tebu dimasukan ke dalam tungku Pembakaran tembikar di Desa Pulutan Kecamatan Remboken Kabupaten Minahasa dengan suhu sekitar 600°C
- Abu ampas tebu kemudian diayak

dengan saringan No.200

- Abu ampas tebu yang akan digunakan adalah yang lolos saringan No.200.
- Abu ampas tebu ini kemudian ditempatkan di tempat yang kering, selanjutnya siap digunakan untuk campuran beton.

Setelah material yang akan di gunakan sudah dipersiapkan selanjutnya dilakukan pemeriksaan material agregat. Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan kebutuhan semen, agregat kasar, agregat halus, dan abu ampas tebu yang akan digunakan dalam campuran beton. Pemeriksaan ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado. Pemeriksaan secara fisik disesuaikan dengan kondisi peralatan yang ada di laboratorium sehingga tidak secara maksimal menggunakan aturan ASTM atau SNI yang bersesuaian dengan parameter pemeriksaan.

Hasil pemeriksaan material kemudian digunakan untuk perencanaan campuran beton dengan menggunakan metode ACI 211.1.91 yang dimodifikasi. Namun dalam perencanaan juga bergantung pada hasil percobaan berulang kali . Sehingga beberapa parameter dapat berubah sesuai dengan hasil *trial* benda uji sehingga diperoleh mutu beton yang diinginkan yaitu 30 MPa. Komposisi kebutuhan material per m<sup>3</sup> campuran beton ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Campuran Beton dengan Variasi AAT pada Kondisi Lapangan per m<sup>3</sup>

Material (kg)	Substitusi AbuAmpas Tebu Terhadap Berat Semen					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
Semen	410	389.5	369	348.5	328	307.5
Air	184.51	184.51	184.51	184.51	184.51	184.51
BP	825.89	825.89	825.89	825.89	825.89	825.89
Pasir	726.29	726.29	726.29	726.29	726.29	726.29
AAT	0.00	20.5	41	61.5	82	102.5

Benda uji yang digunakan ada 2 (dua) macam yaitu silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm untuk pengujian modulus elastisitas dan kuat tekan yang diuji pada umur 28 hari untuk setiap prosentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dari AAT terhadap berat semen.

Tabel 2 Jumlah Benda Uji Silinder 10/20 untuk tiap Prosentase AAT (Umur Beton 28 hari)

% AAT	Jumlah Benda Uji		Total
	Modulus elastisitas	Kuat tekan	
0%	4	4	8
5%	4	4	8
10%	4	4	8
15%	4	4	8
20%	4	4	8
25%	4	4	8
Total Benda Uji			48

Untuk pengujian kuat tarik lentur menggunakan balok dengan ukuran 10 x 10 x 50 cm yang diuji pada umur 14 dan 28 hari untuk setiap prosentase substitusi parsial semen dengan AAT.

Tabel 3 Jumlah Benda Uji balok tiap Prosentase AAT Berdasarkan Umur Beton untuk Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton

% AAT	Jumlah Benda Uji		Total
	Umur Beton (hari)		
	14	28	
0%	4	4	8
5%	4	4	8
10%	4	4	8
15%	4	4	8
20%	4	4	8
25%	4	4	8
Total Benda Uji			64

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Nilai Slump

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton atau *workability*. Dalam penelitian nilai slump untuk beton dengan campuran AAT 0% berkisar antara 75–100 mm. Penggunaan air yang sama untuk setiap prosentase menyebabkan nilai menjadi bervariasi. Hal ini terjadi dikarenakan prosentase pemakaian AAT yang dalam berat yang sama dengan semen memiliki volume lebih besar sehingga penyerapan airnya juga semakin besar. Semakin besar prosentase AAT maka semakin kecil nilai slump. Selain itu terjadi perbedaan nilai slump pada campuran dengan volume adukan beton yang berbeda hal ini disebabkan oleh karena pengaruh luas

permukaan molen sehingga pada volume campuran yang berbeda, jumlah air dan semen yang melekat ke permukaan molen tetap sama sehingga menyebabkan banyak kehilangan air untuk volume campuran yang kecil serta suhu pembakaran yang tidak stabil menyebabkan penyerapan airnya juga tidak merata.

Tabel 4 Nilai Slump Tiap Prosentase AAT pada volume campuran beton untuk 4 Benda Uji Balok dan 8 Benda uji Silinder

Kode Campuran	Balok	Silinder
	Slump (mm)	Slump (mm)
AAT 0%	87	55
AAT 5%	76	30
AAT 10%	56	20
AAT 15%	20	20
AAT 20%	0	0
AAT 25%	0	0

### Kuat Tarik Lentur Beton

Dari hasil pengujian diperoleh beban runtuh untuk menghitung nilai kuat tarik lentur yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5 Kuat Tarik Lentur Rata-rata untuk tiap Umur Pengujian

Prosentase AAT	Kuat Tarik lentur Rata-rata Beton, fr (MPa)	
	14 Hari	28 Hari
AAT 0%	6,073	7,035
AAT 5%	6,221	7,044
AAT 10%	5,74	6,545
AAT 15%	5,731	5,976
AAT 20%	5,644	6,484
AAT 25%	5,058	6,221

Tabel 6 Prosentase Kuat Tarik Lentur Terhadap Prosentase AAT 0%

Prosentase AAT	Prosentase Kuat Tarik terhadap AAT 0%	
	14 hari (%)	28 hari (%)
AAT 0%	100,00	100
AAT 5%	102,45	100,12
AAT 10%	94,53	93,03
AAT 15%	94,38	84,95
AAT 20%	92,94	92,16
AAT 25%	83,29	88,43



Berdasarkan Tabel 6. nilai kuat tarik lentur terbesar pada umur 14 hari diberikan oleh prosentase AAT 5% di mana beton memiliki kuat tarik lentur sebesar 6.221 MPa atau mengalami kenaikan kekuatan 2.45% dari beton tanpa menggunakan tambahan AAT. Pada penambahan AAT lebih dari 5% selanjutnya mengalami penurunan dan nilai kuat tarik lenturnya lebih kecil dari beton tanpa substitusi AAT.

Pada umur 28 hari kuat tarik lentur terbesar juga diberikan oleh prosentase AAT 5% di mana beton mengalami kenaikan kekuatan 0.12% dari beton tanpa menggunakan tambahan AAT. Pada penambahan AAT lebih dari 5% selanjutnya mengalami penurunan dan nilai kuat tarik lenturnya lebih kecil dari beton tanpa substitusi AAT. Dan pada prosentase AAT 15% memberikan nilai kuat tarik lentur terendah yaitu 5.976 MPa atau mengalami penurunan sebesar 15.05% dari beton tanpa AAT.

Kuat tarik lentur umur 14 dan 28 hari memberikan hasil yang bersesuaian di mana kuat tarik lentur terbesar terjadi pada prosentase AAT 5% dan kemudian pada Prosentase lebih dari 5% mengalami penurunan. Ketidak sesuaian terjadi pada prosentase 15% umur 28 hari di mana beton memiliki kuat tarik lentur terendah berbeda dengan umur 14 hari di mana kuat tarik lentur terendah terjadi pada prosentase AAT 25% hal ini dapat terjadi dikarenakan benda uji beton umur 14 hari dan 28 hari tidak berasal dari campuran yang homogen yang disebabkan oleh keterbatasan kapasitas molen sehingga campuran beton setiap variasi AAT tidak dapat dilakukan bersamaan.

Substitusi parsial semen dengan AAT tidak memberikan pengaruh peningkatan terhadap kuat tarik lentur. Semakin besar prosentase AAT yang menggantikan semen menyebabkan terjadinya penurunan kuat tarik lentur. Penurunan dapat terjadi dikarenakan suhu pembakaran AAT yang kurang stabil sehingga silikat yang dihasilkan kurang reaktif sehingga tidak bereaksi secara optimal dengan kapur yang dibebaskan saat reaksi hidrasi terjadi. Dalam penelitian ini jumlah air yang digunakan dalam campuran beton dipertahankan atau dibuat sama untuk setiap prosentase AAT sehingga dengan adanya substitusi semen dengan AAT menyebabkan campuran beton

semakin tidak plastis dan air untuk proses hidrasi semakin berkurang. Hal ini dapat menyebabkan reaksi hidrasi tidak berlangsung secara sempurna sehingga tidak terjadi reaksi antara silikat dan kalsium hidroksida dan daya rekat yang diharapkan tidak terjadi.

### Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas diperoleh dari dari regangan dibagi tegangan saat beton mencapai kuat tekan 40% dari kuat tekan maksimum. Berikut ini adalah hasil modulus elastisitas rata-rata pada 28 hari untuk setiap prosentase AAT berdasarkan pengujian laboratorium.

Tabel 7 Nilai modulus elastisitas tiap variasi AAT dan Prosentase terhadap modulus Elastisitas beton AAT 0%

Prosentase AAT	Modulus Elastisitas (Ec), (MPa)	Prosentase terhadap AAT 0%
AAT 0%	46538,67	100
AAT 5%	52615,59	113,0575
AAT 10%	52437,47	112,6748
AAT 15%	46327,83	99,54674
AAT 20%	57367	123,2678
AAT 25%	48825	104,9128

Dari tabel di atas diperoleh peningkatan 12 - 23% nilai modulus elastisitas pada variasi AAT 5%, 10%, 20%, 25% terhadap beton tanpa substitusi AAT dan nilai modulus elastisitas terbesar yaitu pada substitusi AAT 20% dengan nilai modulus elastisitas sebesar 57367 MPa. Sedangkan nilai modulus elastisitas terendah dihasilkan dari substitusi AAT 15%.

Peningkatan modulus elastisitas terjadi pada substitusi AAT 5% kemudian mengalami penurunan hingga substitusi AAT 15 % di mana pada variasi ini memberi nilai modulus elastisitas terendah yaitu 46327.83 MPa. Dan pada substitusi AAT 20 %, modulus elastisitas mengalami peningkatan dan memberi nilai modulus elastisitas tertinggi yaitu sebesar 57367 MPa. Penurunan terjadi pada variasi substitusi 25% namun demikian masih lebih besar dibandingkan nilai modulus elastisitas tanpa

substitusi AAT. Hasil modulus elastisitas dalam penelitian ini sangat dipengaruhi oleh ketelitian saat pembacaan jarum yang masih dilakukan secara manual. Selain itu laboratorium yang juga digunakan untuk penelitian lainnya serta waktu pengujian setiap variasi AAT yang tidak bersamaan menyebabkan kecepatan pembebanan berbeda-beda untuk setiap benda uji dengan prosentase yang berbeda sehingga mempengaruhi nilai bacaan dan tegangan hancur yang dialami oleh benda uji beton saat pengujian. Faktor lainnya juga dipengaruhi oleh permukaan benda uji yang tidak rata ataupun penempatan benda uji pada alat uji kurang baik.

### Kuat Tekan Beton

Dalam penelitian ini juga dihitung nilai kuat tekan untuk melihat hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas. Dari hasil pengujian kuat tekan di mana benda uji dibebani hingga mengalami kehancuran diperoleh nilai beban runtuh. Data hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari dapat dilihat dari tabel berikut.

Tabel 8 Kuat tekan beton umur 28 hari dengan variasi AAT

Prosentase AAT	fc' Rata-rata
	(MPa)
AAT 0%	34,208
AAT 5%	43,736
AAT 10%	34,505
AAT 15%	39,279
AAT 20%	34,972
AAT 25%	33,232

Dari Tabel 8. dapat lihat bahwa kuat tekan maksimum diperoleh dari substitusi AAT sebesar 5% dengan nilai sebesar 43,736 MPa dan kuat tekan terendah terjadi pada substitusi AAT sebesar 25% dengan nilai sebesar 33,232 MPa. Secara keseluruhan dengan substitusi AAT hingga 20% menghasilkan kuat tekan beton lebih dari beton tanpa substitusi AAT

Dengan adanya substitusi parsial AAT memberi pengaruh peningkatan kekuatan tekan beton dan peningkatan terbesar terjadi pada substitusi AAT 5%. Dan secara keseluruhan dengan adanya substitusi parsial AAT memberi harga kuat tekan beton lebih dari kuat tekan beton yang direncanakan dalam penelitian ini yaitu 30 MPa. Hal ini dapat terjadi karena AAT memiliki ukuran butiran kecil sehingga berperan sebagai *filler* pada beton. Di mana dengan adanya substitusi maka pori-pori beton terisi oleh AAT. Selain itu dengan adanya substitusi semen dengan AAT membuat beton pada penelitian ini yang dipertahankan penggunaan air dalam campuran beton menjadi berkurang sehingga meningkatkan kuat tekan beton. Tetapi pada substitusi AAT yang semakin besar dapat menurunkan kekuatan beton karena air yang dibutuhkan untuk reaksi hidrasi semakin berkurang.

### Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Data hasil pengujian modulus elastisitas kemudian dibandingkan terhadap rumus empiris menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.5 dan ACI 363-92 yang diperoleh dari pengujian kuat tekan yang dapat dilihat dari tabel kuat tekan. Hasil modulus elastisitas menurut SNI dan ACI dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Nilai Modulus Elastisitas Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.5 dan ACI 363-92

Prosentase AAT	Modulus Elastisitas (Ec) MPa	SNI SNI T-15-1991-03 (Ec) MPa	ACI 363-92 (Ec) MPa
AAT 0%	46538,77627	27489,06	26317,8
AAT 5%	52615,59	31082,52	28856,17
AAT 10%	52437,47	27608,17	26401,94
AAT 15%	46327,83	29456,46	27707,54
AAT 20%	57367	27794,31	26533,43
AAT 25%	48825	27094	26038,74

Tabel 9 tersebut menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas menurut SK SNI T-15-1991-03 dan ACI 363-92 lebih kecil dibandingkan hasil pengujian laboratorium. Harga modulus elastisitas tertinggi diperoleh dari prosentase AAT 5% yaitu sebesar 28856,17 menurut SK SNI T-15-1991-03 dan menurut ACI 363-92 sebesar 31082,52. Sedangkan modulus elastisitas terendah diperoleh dari prosentase AAT 25 %. Secara keseluruhan modulus elastisitas dari hasil pengujian memberikan nilai hampir dua kali lebih besar dari nilai modulus elastisitas menurut SNI dan ACI.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Substitusi parsial semen dengan AAT tidak memberikan pengaruh peningkatan kuat tarik lentur beton.
2. Substitusi parsial semen dengan AAT memberikan kenaikan pada modulus elastisitas kecuali pada Substitusi AAT 15% dengan penurunan 0,45% dibandingkan tanpa AAT dan modulus elastisitas terbesar diberikan oleh substitusi AAT 20% dari berat Semen dengan kenaikan sebesar 23,27%.
3. Modulus elastisitas dari hasil pengujian laboratorium lebih besar dari modulus elastisitas yang diperoleh dari rumus hubungan kuat tekan beton dengan modulus elastisitas menurut SNI dan ACI.

4. Kuat tekan yang dihasilkan dengan substitusi parsial semen dengan AAT memberikan nilai lebih besar dari kuat tekan yang direncanakan dan peningkatan terbesar terjadi pada pada prosentase AAT 5%.
5. Semakin besar substitusi abu ampas tebu maka semakin rendah workability campuran beton atau atau campuran beton semakin sulit untuk dikerjakan.
6. Secara keseluruhan dengan mempertahankan penggunaan air dalam campuran beton diperoleh prosentase optimal pada substitusi AAT 5% dari berat semen karena memberi peningkatan modulus elastisitas dan kuat tekan serta memiliki *workability* yang cukup baik dibandingkan prosentase yang lebih dari 5%

### Saran

1. Perlu adanya penelitian mengenai pengaruh variasi suhu pembakaran abu ampas tebu untuk memperoleh suhu pembakaran yang menghasilkan abu ampas tebu dengan kandungan silikat yang lebih reaktif.
2. Perlu adanya penelitian dengan menambahkan *superplasticizer* untuk memperbaiki *workability* dari beton yang dicampur dengan AAT
3. Agar disediakan kapasitas molen yang lebih besar sehingga campuran beton bersifat seragam karena dicampur bersamaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211.1 – 91. 1993 *Standard Practice For Selecting Proportions For Normal Heavy Weight And Mass Concrete*. ACI. Detroit.
- ACI 363R-92. 1992. *State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete*.
- American Society For Testing Material (ASTM). 1993. *Concrete and aggregate*. Philadelphia. Volume 04.02.
- <http://www.kemenperin.go.id/artikel/3893/Konsumsi-Semen-Tumbuh-15>, diakses 30 September 2012.
- <http://economy.okezone.com/read/2012/07/28/320/669858/gula-nasional-hanya-mampu-penuhi-60-kebutuhan>, diakses 28 Oktober 2012.