

# PENGARUH ABU AMPAS TEBU SEBAGAI POZZOLAN PADA CAMPURAN BETON NORMAL DAN BETON UHPC TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR BETON

Hariato Hardjasaputra<sup>1</sup>, Marcia Devana<sup>2</sup>, dan Rachmansyah<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Krida Wacana Jakarta

Email: [hardja@yahoo.com](mailto:hardja@yahoo.com)

**Abstrak:** Penambahan bahan pozzolan dalam campuran beton dilakukan terutama untuk meningkatkan kekuatan beton. Silica yang berbentuk sebagai SiO<sub>2</sub> pada pozzolan bersifat reaktif terhadap Ca(OH)<sub>2</sub> yang akan menghasilkan CSH (Calcium Silicates Hydrates) baru, yang akan meningkatkan kekuatan beton. Bahan pozzolan yang sudah dikenal di industri beton antara lain adalah silica fume dan fly ash. Dalam penelitian ini, sebagai sumber SiO<sub>2</sub> digunakan bahan dasar ampas tebu yang dibakar dalam tungku pembakaran dengan suhu maksimum 600 °C. Hasil pembakaran ampas tebu ini digiling untuk mendapatkan kehalusan yang tinggi, sehingga diperoleh Abu Ampas Tebu (AAT). Dari hasil SEM kehalusan dari AAT ini mempunyai ukuran > 50 µm dan hasil XRF menunjukkan bahwa kandungan SiO<sub>2</sub> adalah lebih dari 53%. Pengaruh penambahan dari AAT terhadap mutu beton dilakukan pada dua jenis beton yaitu beton normal dan Ultra High Performance Concrete (UHPC). Kuat tekan beton normal yang direncanakan adalah 40 MPa, sedangkan untuk kuat tekan beton UHPC direncanakan adalah 100 MPa. Pada campuran beton ini ditambahkan superplasticizer (SP). Kadar abu ampas tebu yang ditambahkan pada campuran beton normal adalah 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat semen, sedangkan untuk beton UHPC adalah 0%, 5%, 10% dan 15% dari berat silica fume. Dari hasil pengujian, penambahan AAT dapat meningkatkan kekuatan sampai 33 % pada beton normal, sedangkan untuk UHPC diperoleh peningkatan sebesar 17 %. Uji kuat lentur pada UHPC menunjukkan peningkatan kekuatan kuat lentur yang tinggi yaitu mencapai sebesar 63,32% untuk penambahan AAT sebesar 10 % dari berat silica.

**Kata kunci:** abu ampas tebu, beton normal, kuat tekan beton, kuat lentur beton, *Ultra High Performance Concrete*

## ***EFFECT OF SUGARCANE BAGASSE ASH AS POZZOLAN TO COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTH OF NORMAL AND ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE***

**Abstract:** *The addition of pozzolan ingredients in concrete mixtures can increase the strength of concrete. The Silica (SiO<sub>2</sub>) on pozzolan will convert Ca(OH)<sub>2</sub> to the second order of CSH (Calcium Silicates Hydrates). As the result, the new CSH will increase the strength of the concrete. Pozzolan materials that are well known in the concrete industry as silica fume and fly ash. In this study, SiO<sub>2</sub> was produced from the basic ingredients of burnt sugarcane bagasse in a furnace with a maximum temperature of 600 °C. The result of this sugarcane bagasse combustion is milled to obtain high fineness, so obtained sugarcane bagasse ash (AAT). Result of SEM showed that the fineness of AAT size was smaller than 50 µm. According to XRF test SiO<sub>2</sub> content was more than 53%. The effects of the AAT addition were studied to the normal concrete and Ultra High Performance Concrete (UHPC). The compressive strength was planned to be 40 MPa for Normal Concrete and 100 MPa for UHPC. The superplasticizer (SP) was added to UHPC mixture. In this research the AAT content added to Normal Concrete mixture was as following: 0%, 5%, 10%, and 15% by cement weight, while to UHPC was as following: 0%, 5%, 10% and 15% by weight of silica fume. It can be concluded that the strength increment can be achieved up to 30% for Normal Concrete and up to 17% for UHPC. The flexural strength test for UHPC specimens showed an increment of the concrete flexural strength which reached up to 63.32% for the addition of 10% AAT by the silica weight.*

**Keywords:** *sugarcane bagasse ash, normal concrete, compressive strength of concrete, flexure strength of concrete, Ultra High Performance Concrete*

## PENDAHULUAN

The Earth Summit 1997 di Kyoto, Jepang, mendeklarasikan perlunya dilakukan tindakan nyata dan terukur untuk pengurangan emisi gas CO<sub>2</sub> sampai sebesar 21%, agar bumi kita terhindar dari pemanasan global yang membawa dampak terjadinya perubahan iklim di dunia ini. Deklarasi Kyoto ini diperkuat kembali pada United Nation Conference on Climate Change 2015 yang menghasilkan naskah Paris Global Warming Agreement. Naskah ini yang telah diratifikasi (disepakati secara hukum) oleh 174 negara di dunia pada April 2016 di New York berkomitmen untuk MENJAGA agar kenaikan temperatur dunia HARUS dibatasi tidak lebih dari 2° C (dua derajat Celcius) pada pertengahan abad ke 21 ini. Hal ini berarti setiap negara harus melakukan tindakan nyata agar pada pertengahan abad ke 21 ini bisa dicapai ZERO Green House Emission CO<sub>2</sub>.

Dari hasil penelitian ternyata industri semen diseluruh dunia berkontribusi sekitar 8–10% total emisi CO<sub>2</sub>. Angka ini cukup tinggi dan bila tidak dilakukan tindakan khusus akan terus meningkat, seiring dengan sangat pesatnya pembangunan fisik di berbagai belahan dunia (Uni Emirat, India, China, dll) yang memerlukan banyak bahan semen, sebagai komponen utama beton. Mengingat pentingnya tindakan nyata yang harus dilakukan, maka perlu dilakukan usaha nyata untuk mencapai Teknologi Beton yang Berkelanjutan, agar dapat diciptakan "Green concrete".

Untuk itu sejak tahun 2010 dibuat suatu road map penelitian untuk pengurangan penggunaan semen pada mix design beton, yaitu dengan memberikan substitusi zat zat yang bersifat pozzolan (Hardjasaputra, 2015; Hardjasaputra dkk., 2010). Zat pozzolan yang akan dikembangkan melalui penelitian semuanya berasal dari limbah industri pertanian dan perkebunan yaitu cangkang kelapa sawit, abu ampas tebu dan sekam padi. Indonesia yang merupakan negara agraris, maka bahan baku untuk pozzolan yang berasal dari limbah pertanian dan perkebunan tentu saja akan melimpah. Melalui suatu seri penelitian green concrete telah dikembangkan teknik pembakaran limbah ini yang baik, agar dari limbah ini dapat diperoleh abu yang kaya kandungan

SiO<sub>2</sub> nya dan bersifat amorf (Hardjasaputra dkk, 2010). Abu hasil pembakaran sebelum digunakan harus digiling sehalus mungkin dan dilakukan beberapa uji di laboratorium Nano Teknologi dengan SEM, SFR dan PSA. Umumnya partikel pozzolan yang dihasilkan mempunyai berukuran lebih kecil dari pada semen sehingga dapat mengisi ruang kosong antar partikel semen dan dapat meningkatkan kuat tekan beton. Abu yang kaya kandungan SiO<sub>2</sub> akan bereaksi dengan Ca(OH)<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O untuk membentuk senyawa CSH (Kalsium Silikat Hidrat) tambahan untuk mengikat bahan agregat, sehingga diperoleh beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi. Abu yang diperoleh dari limbah pertanian dan perkebunan ini peneliti beri nama sebagai Bio Silica.

Pada penelitian ini dilakukan studi untuk mengukur kinerja dari pozzolan yang dihasilkan dari Ampas Tebu, yang setelah melalui teknik pembakaran tertentu akan menjadi Abu Ampas Tebu yang mempunyai kandungan SiO<sub>2</sub> cukup tinggi. Kinerja dari Abu Ampas Tebu (AAT) ini diuji melalui pembuatan benda uji silinder beton dan balok mini beton dengan mutu Normal dan UHPC. Pengaruh dari penambahan AAT dievaluasi melalui kuat tekan dan kuat lentur beton yang dihasilkan. Pozzolan yang digunakan berasal dari ampas tebu yang kemudian diproses sesuai dengan hasil penelitian terdahulu (Hardjasaputra, 2011), yaitu dibakar dalam tungku khusus pada suhu max 600 °C (Hanafi dan Nandang, 2010) selama 30 menit, didinginkan dan kemudian dihaluskan dengan menggunakan mesin Los Angeles selama 2 jam sehingga diperoleh Abu Ampas Tebu (AAT).

## PENGUJIAN KARAKTERISTIK ABU AMPAS TEBU (AAT)

Menurut ASTM Standart (2005), pozzolan terbagi kedalam tiga kelas yang setiap kelas ditentukan komposisi kimia dan sifat fisiknya. Pozzolan dinyatakan memiliki mutu yang baik apabila jumlah kadar SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang tinggi dan tingkat reaktifitas dengan kapur yang tinggi. Ketiga kelas tersebut yaitu:

1. Kelas N yaitu pozzolan alami yang mengalami proses pembakaran oleh alam. Pozzolan yang termasuk kedalam

kelas ini contohnya abu vulkanik dan tufa.

2. Kelas C yaitu Fly Ash yang mengandung senyawa CaO diatas 10% yang merupakan hasil dari pembakaran batubara bituminous.
3. Kelas F yaitu Fly Ash yang mengandung senyawa CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran sub-bitumen batubara.

Tabel 1. Persyaratan komposisi kimia pozzolan [1]

Komposisi	Kelas		
	N	F	C
Jumlah SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (min, %)	70,0	70,0	50,0
SO <sub>3</sub> (max, %)	4,0	5,0	5,0
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (max, %)	1,5	1,5	1,5
Kadar kelembaban (max, %)	3,0	3,0	3,0
Hilang pijar (max, %)	10,0	6,0	6,0

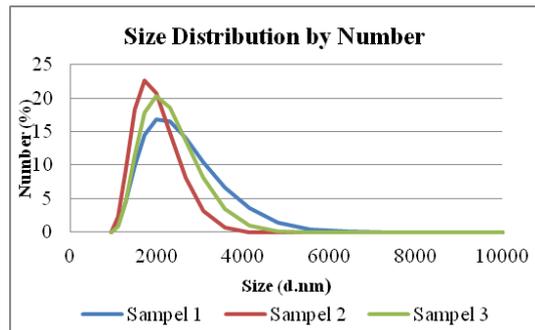
Untuk mengetahui karakteristik dari abu ampas tebu (AAT) dilakukan pengujian:

1. Particle size analysis (PSA): untuk mengetahui ukuran butiran dari AAT.
2. Scanning Electron Microscope (SEM): untuk mengetahui bentuk butiran AAT.
3. Energy dispersive spectroscopy (EDS): untuk mengetahui elemen yang terkandung dalam AAT.
4. X-ray fluoroscene (X-RF): untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam AAT terutama kandungan SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk menentukan apakah AAT yang dihasilkan termasuk ke dalam kriteria pozzolan menurut ASTM C-618.

Berikut adalah hasil pengujian karakteristik Abu Ampas Tebu (AAT) yang meliputi uji PSA, EDS, SEM, XRF.

**Particle Size Analysis (PSA)**

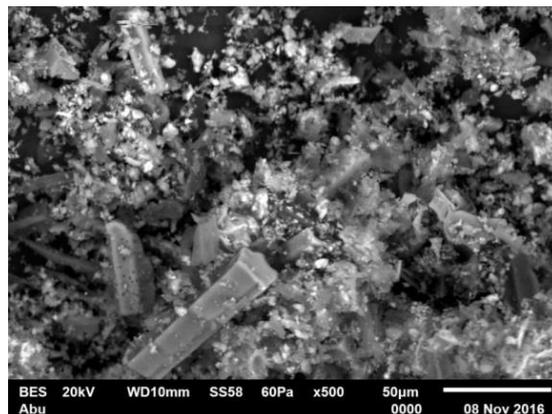
Pengujian PSA dilakukan untuk mengetahui ukuran dari butiran abu ampas tebu yang diproduksi. Dari hasil pengujian diperoleh abu ampas tebu memiliki ukuran paling banyak sebesar 2 µm.



Gambar 1. Grafik distribusi ukuran partikel AAT

**Scanning Electron Microscope (SEM) & Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)**

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk dari butiran abu ampas tebu, sedangkan pengujian EDS dilakukan untuk mengetahui kandungan elemen yang terdapat dalam abu ampas tebu. Dari hasil pengujian diperoleh AAT yang dihasilkan memiliki bentuk partikel persegi tidak beraturan dan memiliki kandungan elemen (Si) sebesar 23,02%.



Gambar 2. Hasil pengujian SEM dengan perbesaran x 500

**X-Ray FLuoroscene (XRF)**

Pengujian XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur yang terdapat dalam abu ampas tebu serta untuk mengetahui apakah abu ampas tebu termasuk kedalam kriteria pozzolan menurut ASTM C618. Dari hasil pengujian XRF diperoleh abu ampas tebu yang diproduksi termasuk kedalam kriteria pozzolan kelas C menurut ASTM C618.

Tabel 2. Hasil uji XRF

Unsur	Komposisi unsur (%)
Silikat (SiO <sub>2</sub> )	53,47
Besi Oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3,67
Alumunium Oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,41
Total	57,55

Berat jenis dari abu ampas tebu diperiksa melalui pengujian dengan menggunakan standar pengujian berat jenis untuk tanah, yaitu SNI – 1964 – 2008. Dari hasil pengujian, diperoleh AAT yang diproduksi memiliki berat jenis 2,25 gr/cm<sup>3</sup>.

### MIX DESIGN DAN PEMBUATAN BENDA UJI

Pada penelitian dengan menggunakan AAT ini dibuat 2 kelompok mix design yaitu untuk beton Normal dan UHPC.

#### Mix Design Beton Normal

Terdapat 4 jenis mix design beton normal yang mempunyai kadar AAT bervariasi dari 0%, 5%, 10% dan 15% terhadap Berat Semen. Sedangkan kuat tekan rencana beton ini adalah 40 Mpa, dihitung mengacu pada SNI 03-6468-2000. Berikut adalah mix design untuk beton normal.

Tabel 3. Variasi mix design beton Normal

Bahan Campuran	Variasi Campuran (1 m <sup>3</sup> beton)			
	BN	BN-AT5	BN-AT10	BN-AT15
Air	189,7	189,7	189,7	189,7
Semen	431,36	431,36	431,36	431,36
AAT	-	21,57	43,14	64,70
Kerikil	1011,2	1011,2	1011,2	1011,2
Pasir	612,89	589,02	565,16	541,29
Superplasticizer	3,24	3,24	3,24	3,24

#### Mix Design UHPC

Terdapat 4 jenis mix design dengan kadar AAT bervariasi antara 0%, 5%, 10% dan 15%, dimana kadar AAT diambil prosentase terhadap berat silica. Berikut adalah mix design untuk pembuatan benda uji dari UHPC dengan rencana kuat tekan UHPC sebesar 100 Mpa. Mix design UHPC diambil dari mix design penelitian sebelumnya (Hardjasaputra dkk, 2015)

Tabel 4. Variasi mix design UHPC

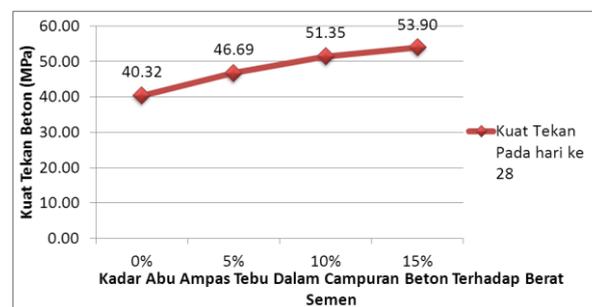
Bahan Campuran	Variasi Campuran (1 m <sup>3</sup> beton)			
	TM 7-AT0	TM 7-AT5	TM 7-AT10	TM 7-AT15
Semen	850	850	850	850
Pasir	851,12	837,89	824,65	811,41
Serbuk Marmer <i>Silica fume</i>	160,46	160,46	160,46	160,46
AAT	230	230	230	230
Superplasticizer	0	11,5	23	34,5
Air	60	60	60	60
	187	187	187	187

#### Hasil Uji Kuat Tekan Beton Normal

Berikut adalah hasil uji kuat tekan rata-rata beton normal pada hari ke 28 untuk ke empat mix design diatas.

Tabel 5. Kuat tekan benda uji variasi mix design beton normal

Kode benda uji	Kadar Pozzolan	Kuat Tekan Rata-rata hari 28 (Mpa)	Persentase peningkatan (%)
BN	tidak ada	40,32	0
BN AT5	5%	46,69	15,79
BN AT10	10%	51,35	27,37
BN AT15	15%	53,90	33,68

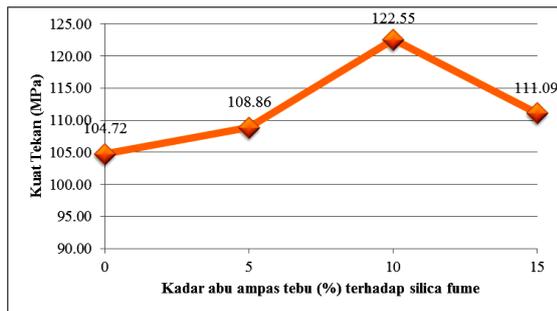


Gambar 3. Grafik hubungan kuat tekan dengan penambahan AAT

Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa kuat tekan tertinggi untuk beton normal diperoleh dengan menambahkan AAT sebanyak 15% dari berat semen, yaitu adanya peningkatan kuat tekan sebesar 33,68% dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan AAT.

### Hasil Uji Kuat Tekan UHPC

Dari grafik pada gambar 4 dapat dilihat bahwa kuat tekan optimum diperoleh dari penambahan AAT sebanyak 10% dari berat silika dengan meningkatkan kuat tekan beton UHPC sebesar 17% dibandingkan dengan beton UHPC yang tidak menambahkan AAT kedalam campuran beton.



Gambar 4. Grafik hubungan kuat tekan dengan penambahan AAT

### Hasil uji kuat lentur Beton UHPC dengan campuran AAT

Pada penelitian ditinjau juga pengaruh penambahan AAT pada kuat lentur dari beton UHPC dengan menggunakan benda uji balok mini dengan ukuran 30 cm x 6 cm x 6 cm. Terdapat 3 variasi mix design yang diuji kuat lenturnya berdasarkan kadar penambahan AAT yaitu 0%, 5%, dan 10% terhadap berat silika dengan masing-masing 2 buah benda uji balok untuk setiap variasinya. Berikut adalah hasil pengujian kuat lentur balok yang diuji di laboratorium UPH.

Tabel 6. Hasil uji kuat lentur beton UHPC

Kode Balok	Kadar AAT (%)	Load Max (N)	Kuat Lentur (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
TM7-AT0-A	0	3573,9	6,577	6,98
TM7-AT0-B	0	4012,6	7,384	
TM7-AT5-A	5	5688,5	10,468	9,19
TM7-AT5-B	5	4298,5	7,910	
TM7-AT10-A	10	5895,8	10,850	11,40
TM7-AT10-B	10	6489,1	11,942	

Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa penambahan abu ampas tebu (AAT) pada campuran UHPC sebanyak 10% terhadap berat silika dapat meningkatkan kuat lentur sebesar 63% dibandingkan balok UHPC tanpa tambahan AAT

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan data yang diperoleh dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. AAT yang diperoleh dengan proses pembakaran sampai 600 °C dan digiling halus dapat diperoleh pozzolan kategori kelas C sesuai ASTM C618.
2. Penggunaan AAT sebagai pozzolan pada campuran beton normal sebanyak 15% dari berat semen ternyata dapat meningkatkan kuat tekan beton sampai 30%, sehingga dapat disimpulkan penggunaan AAT pada campuran beton Normal dapat mengurangi penggunaan semen antara 20% sampai 30 %.
3. Penggunaan AAT sebagai pozzolan pada campuran UHPC terbatas pada penambahan 10% AAT terhadap berat silika fume yang digunakan. Hasil yang didapat adalah peningkatan kuat tekannya hanya mencapai 15%. Hal ini menunjukkan kinerja dari AAT pada campuran UHPC lebih rendah daripada pada campuran beton normal. Tapi dari hasil pengujian kuat lentur penambahan AAT pada campuran UHPC justru dapat meningkatkan kuat tarik sampai 50%
4. Dari segi biaya proses pembuatan AAT adalah jauh lebih murah dibandingkan dengan harga Silica Fume, yaitu bahan pozzolan yang ada di pasaran Indonesia, yang merupakan barang import. Hal ini menjadi salah satu alasan perlunya penelitian lanjutan untuk memastikan kinerja pozzolan yang berasal dari limbah pertanian dan perkebunan ini, agar penghematan penggunaan semen dapat terus ditingkatkan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Program Hibah Kompetensi 2018, Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, No.: 021/KM/PNT/2018, Tanggal 6 Maret 2018.

### DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM Standart. 2005. *C618-05 Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. ASTM International. United States.
2. Hanafi A. dan Nandang A.. 2010. *Studi Pengaruh Bentuk Silika dari Abu Ampas Tebu terhadap Kekuatan Produk Keramik*. Jurnal Kimia Indonesia, Vol. 5(1), p.35-38.
3. Hardjasaputra, H. 2015. *Toward the New Generation Concrete-Ultra High Performance Concrete (UHPC): Research and Its Applications. The Latest Development in Civil Engineering: A Book to Honor the 80<sup>th</sup> Birthday of Prof. Dr. Ir. Wiratman Wangsadinata*. Witness Press. Jakarta.
4. Hardjasaputra, H., Natalia, M., dan Pungus, R. 2011. *Meningkatkan Mutu dan Produktifitas Abu Sekam Padi dengan Pembakaran Tunku UPH Sebagai Bahan Campuran Dalam Beton*. Laporan Penelitian No:P008-FDTP/III/2011.
5. Hardjasaputra, H., Tirtawijaya, J., dan Trajang, J.P. 2010. *Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Abu Silika Pada Kuat Tekan Mortar Semen Jenis WPC, PCC dan OPC*. Laporan Penelitian No:P007-FDTP/III/2010.