

PEMANFAATAN LIMBAH ABU AMPAS TEBU (BAGGASE ASH) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN UNTUK MENINGKATKAN KUAT TEKAN DAN DURABILITAS BETON PADA LINGKUNGAN AGRESIF

Oleh :

Sri Haryono dan Luky Primantari

ABSTRAKSI

Dari penelitian yang dilakukan dengan menggunakan abu ampas tebu dari Pabrik Gula Mojo – Sragen – Jawa Tengah, pada temperatur pembakaran 700°C selama 60 menit, kandungan silika (SiO_2) abu ampas tebu tercatat sebesar 86,20 %. Penelitian ini mengkaji pengaruh abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen pada campuran beton terhadap kuat tekan, ketahanan terhadap larutan sulfat, serapan air dan rembesan air. Prosentase jumlah abu ampas tebu sebagai bahan substitusi sebesar 10%, 15 %, 20 %, 25 %, 30 % dan 35 % dari berat semen. Dari hasil penelitian, substitusi abu ampas tebu sebesar 15 % dari berat semen, menyebabkan peningkatan kuat tekan beton pada umur 28, 56 dan 90 hari masing – masing sebesar 10,66 %, 13,89 %, dan 15,62 % dari beton kontrolnya. Pengujian benda uji pada umur 90 hari menunjukkan bahwa ketahanan beton tanpa abu ampas tebu yang direndam di dalam larutan MgSO_4 1,50 % sebesar 96,43%, sedangkan untuk beton dengan substitusi abu ampas tebu menjadi 97,58 % masing-masing terhadap beton kontrolnya. Pada umur beton 28 dan 56 hari besarnya serapan air (absorpsi) untuk beton kontrol sebesar 4,61% dan 4,38 %, sedangkan untuk beton dengan substitusi abu ampas tebu sebesar 15 % sebesar 2,73 % dan 2,60 % untuk lama perendaman 24 jam. Sedangkan dari pengujian penetrasi air ke dalam beton, untuk beton dengan substitusi abu ampas tebu 15 %, rembesan air pada tekanan air sebesar 3 bar selama 24 jam, 7 bar selama 24 jam, 1 bar selama 48 jam mengalami penurunan masing – masing sebesar 10 %, 12,50 %, dan 7,14 % dari beton kontrolnya.

Pendahuluan

Pemanfaatan beton sebagai material konstruksi harus diupayakan akomodatif terhadap tempat dan waktu. Persoalan korosi dan disintegrasi material beton akan muncul manakala struktur bangunan beton dibangun disuatu lingkungan yang agresif. Proses disintegrasi material beton yang sering dijumpai disebabkan oleh serangan zat-zat kimia khususnya garam-garam sulfat, yang sering muncul dari air tanah dan air laut.

Serangan garam sulfat pada beton selain akan menurunkan kuat tekan beton juga akan menyebabkan proses kerusakan dan korosi pada beton. Hal ini disebabkan oleh keberadaan garam yang bersifat

mengembang pada beton akibat serangan ion sulfat dari luar.

Secara garis besar ada tiga metode yang dapat ditempuh untuk mencegah kerusakan konstruksi beton pada lingkungan yang agresif , yaitu :

1. Dengan membuat beton kedap air
2. Dengan menggunakan bahan tambah atau *admixture*
3. Dengan menggunakan faktor air semen yang rendah

Proses hidrasi antara semen yang mengandung Kalsium Silikat (C_3S dan C_2S) dengan air akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) dan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Proses hidrasi antara semen yang mengandung Kalsium Silikat (C_3S dan C_2S) dengan air akan menghasilkan

kalsium silikat hidrat (C-S-H) dan kalsium hidroksida Ca(OH)_2 . Larutan magnesium sulfat mengikat kalsium hidroksida, yang menghasilkan senyawa yang mudah larut dalam air. Dengan adanya SiO_2 dalam abu ampas tebu maka dapat mengurangi jumlah Ca(OH)_2 karena dapat mengikat (bereaksi) dengan Ca(OH)_2 membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H).

Pada pasta semen yang telah mengeras apabila terserang larutan sulfat, maka Kalsium Aluminat (C_3A) dan Kalsium aluminat ferrite (C_4AF) bereaksi dengan sulfat (SO_4) yang akan menghasilkan *ettringite*. *Ettringite* bersifat mengembang yang dapat menyebabkan terjadinya retak-retak pada beton. Dengan demikian jumlah C_3A dan C_4AF pada semen harus dibatasi. Dengan substitusi semen dengan abu ampas tebu maka jumlah Kalsium Aluminat dan Kalsium aluminat ferrite berkurang, sehingga beton akan lebih tahan terhadap serangan sulfat.

Metode Penelitian

Abu ampas tebu yang akan digunakan didalam penelitian ini, diambil dari PG. Mojo Sragen – Jawa Tengah dibakar pada temperatur dan lama pembakaran secara terkontrol dan bervariasi.

Penelitian ini menggunakan *cement substitution method* dengan jumlah air dipertahankan tetap, jumlah semen dan nilai slump berubah. Variasi jumlah abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen diambil sebesar 10%, 15 %, 20 %, 25 %,

30 % dan 35 % dari berat semen. Adukan beton menggunakan nilai faktor air semen sebesar 0,45 untuk beton kontrolnya. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan ukuran Φ 150 mm x 300 mm untuk pengujian kuat tekan dan kubus 150 mm x 150 mm x 150 mm untuk pengujian serapan dan rembesan air.

Jenis bahan yang digunakan adalah semen tipe I produksi Semen Gresik, agregat halus (alami) diambil dari Kali Progo, Sleman Yogyakarta dan agregat kasar (kerikil pecah mesin) dari Kabupaten Purworejo dengan ukuran maksimum agregat 20 mm.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 7, 14, 28, 56 dan 90 hari, sedangkan pengujian kuat tekan beton setelah direndam MgSO_4 dilakukan pada umur beton 56 dan 90 hari. Pengujian serapan dan rembesan dilakukan pada benda uji setelah berumur 28 dan 56 hari.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Hasil Penelitian Abu Ampas Tebu

1.1. Analisis *Atomic Absorbtion Spectrofotometry*

Hasil analisis *Atomic Absorbtion Spectrofotometry* untuk berbagai variasi suhu dan lama pembakaran dapat dilihat pada Tabel 1, jumlah kandungan SiO_2 pada suhu pembakaran 700°C , dengan lama waktu pembakaran 60 menit, tercatat sebesar 86,20 %.

Tabel 1 Jumlah kandungan SiO_2 (%) untuk berbagai variasi suhu pembakaran Abu Ampas Tebu.

Suhu Pembakaran	Waktu Pembakaran		
	60 menit	90 menit	150 menit
500°C	80,50	--	--
600°C	84,24	--	--
700°C	86,20	83,13	80,18
800°C	82,75	81,88	77,99
900°C	83,58	79,98	79,28
1000°C	82,48	81,22	77,96

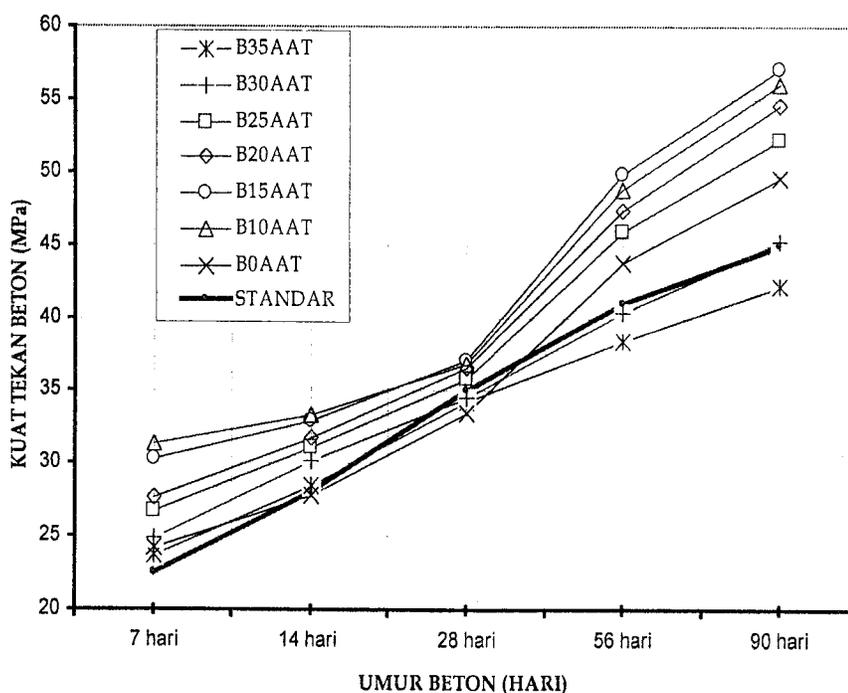
2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 3 dan Gambar 2, menunjukkan hasil pengujian kuat tekan dari berbagai

komposisi penambahan abu ampas tebu dan umur beton.

Tabel 3 Kuat tekan beton pada umur 7, 14, 28, 56 dan 90 hari

No.	Kode	Kuat tekan beton (MPa)				
		7 hari	14 hari	28 hari	56 hari	90 hari
1.	B0AAT	24,25	27,72	33,48	43,78	49,67
2.	B10AAT	31,28	33,32	36,85	48,82	56,10
3.	B15AAT	30,25	32,90	37,05	49,86	57,12
4.	B20AAT	27,65	31,75	36,52	47,37	54,56
5.	B25AAT	26,77	31,05	35,76	45,95	52,23
6.	B30AAT	24,91	30,10	34,44	40,39	45,24
7.	B35AAT	23,67	28,41	34,25	38,42	42,24



Gambar 2 Grafik kuat tekan - umur beton untuk berbagai jumlah abu ampas tebu.

Peningkatan kuat tekan terbesar dicapai untuk substitusi abu ampas tebu sebesar 15 %. Sampai dengan umur 90 hari, peningkatan kuat tekan beton masih cukup besar dan belum menunjukkan suatu harga

yang cenderung tetap atau kurva kuat tekan masih cenderung meningkat.

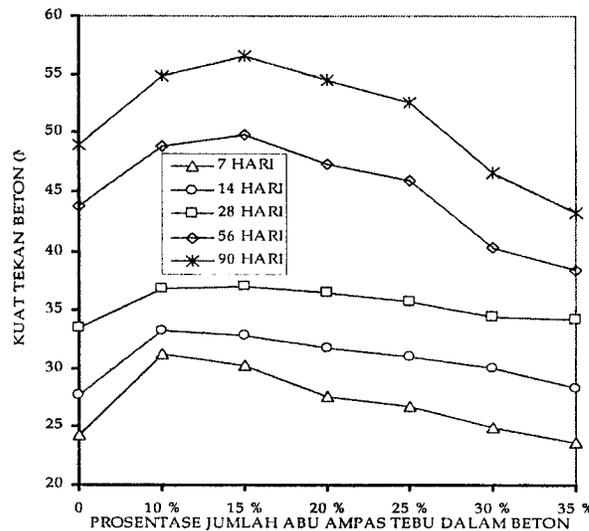
Tabel 4, menunjukkan kuat tekan relatif dari beton dengan substitusi abu ampas tebu sebesar 15 % untuk berbagai umur beton, sebagai beton kontrol diambil beton dengan

substitusi abu ampas tebu 15 % pada umur 28 hari. Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa kuat tekan beton pada umur 7 hari dan 14 hari mencapai masing-masing sebesar 81,64 % dan 88,80 % dari beton kontrolnya. Sementara untuk kuat tekan beton pada umur

56 hari dan 90 hari menunjukkan menunjukkan nilai sebesar 134,57 % dan 152,82 % dari beton kontrolnya, berarti mengalami kenaikan sebesar 34,57 % dan 52,82 % dari beton kontrolnya.

Tabel 4 Kuat tekan relatif beton untuk B15AAT

7 hari	14 hari	28 hari	56 hari	90 hari
81,64 %	88,80 %	100 %	134,57 %	152,82 %



Gambar 3 Grafik kuat tekan – jumlah ampas tebu untuk berbagai umur beton

Gambar 3, menunjukkan grafik kuat tekan terhadap prosentase jumlah abu ampas tebu yang ditambahkan untuk berbagai umur beton, pada umur 7 hari dan 14 hari kuat tekan tertinggi dicapai oleh beton dengan substitusi abu ampas tebu sebesar 10 %. Sedangkan untuk umur 28, 56 dan 90 hari kuat tekan tertinggi dicapai oleh beton dengan substitusi abu ampas tebu sebesar 15 %. Substitusi abu ampas tebu sebesar 15 % dari

berat semen merupakan nilai optimum jumlah ampas tebu, yang memberikan kuat tekan terbesar, terutama untuk umur beton dalam jangka yang lama.

3. Kuat Tekan Beton Yang Diredam Didalam Larutan MgSO₄

Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 56 hari yang direndam didalam MgSO₄, terlihat pada Tabel 9.

Tabel 5 Penurunan kuat tekan beton pada umur 56 hari yang direndam $MgSO_4$

No	Kode	Kuat tekan beton normal (MPa)	Kuat tekan yang direndam $MgSO_4$	Penurunan kuat tekan beton
1.	B0AAT	43,78	42,56	2,78 %
2.	B10AAT	48,82	47,84	1,92 %
3.	B15AAT	49,86	48,88	1,94 %
4.	B20AAT	47,37	46,16	2,52 %
5.	B25AAT	45,95	44,74	2,61 %
6.	B30AAT	40,39	39,25	2,81 %
7.	B35AAT	38,42	37,27	2,94 %

Dari Tabel 5, dapat ditunjukkan bahwa terdapat penurunan kuat tekan pada benda uji yang direndam dengan air biasa (beton normal) dengan benda uji yang direndam dengan larutan $MgSO_4$.

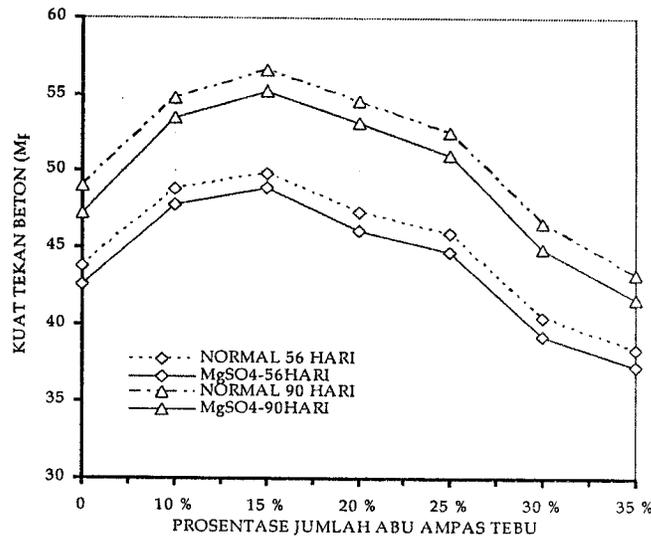
Dari data ini terlihat bahwa penurunan kekuatan beton berkisar antara 1,90 % – 3 %, dan penurunan kuat tekan terkecil terjadi

pada beton B10AAT sebesar 1,92 %. Sedangkan Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan pada umur 90 hari untuk benda uji yang direndam dalam $MgSO_4$, penurunan kekuatan beton berkisar antara 2,50 % – 3,70 %, penurunan kuat tekan terkecil dialami oleh beton B15AAT sebesar 2,42 %

Tabel 6 Penurunan Kuat tekan beton pada umur 90 hari yang direndam $MgSO_4$

No.	Kode	Kuat tekan beton normal (MPa)	Kuat tekan yang direndam $MgSO_4$	Penurunan kuat tekan beton
1.	B0AAT	48,97	47,25	3,57 %
2.	B10AAT	54,82	53,50	2,46 %
3.	B15AAT	56,62	55,25	2,42 %
4.	B20AAT	54,56	53,21	2,52 %
5.	B25AAT	52,56	51,05	2,84 %
6.	B30AAT	46,57	44,92	3,50 %
7.	B35AAT	43,23	41,61	3,70 %

Gambar 4 menunjukkan grafik penurunan kuat tekan untuk komposisi prosentase seluruh substitusi abu ampas tebu pada umur 56 dan 90 hari



Gambar 4 Grafik kuat tekan untuk beton normal dan beton yang direndam MgSO₄

Dari Gambar 4 tersebut dapat ditunjukkan bahwa untuk jangka waktu lama, B15AAT atau beton dengan substitusi abu ampas tebu sebesar 15 % akan lebih tahan terhadap larutan MgSO₄.

Pengujian Serapan Air

Hasil pengujian serapan air dapat dilihat pada Tabel 7, untuk umur benda uji

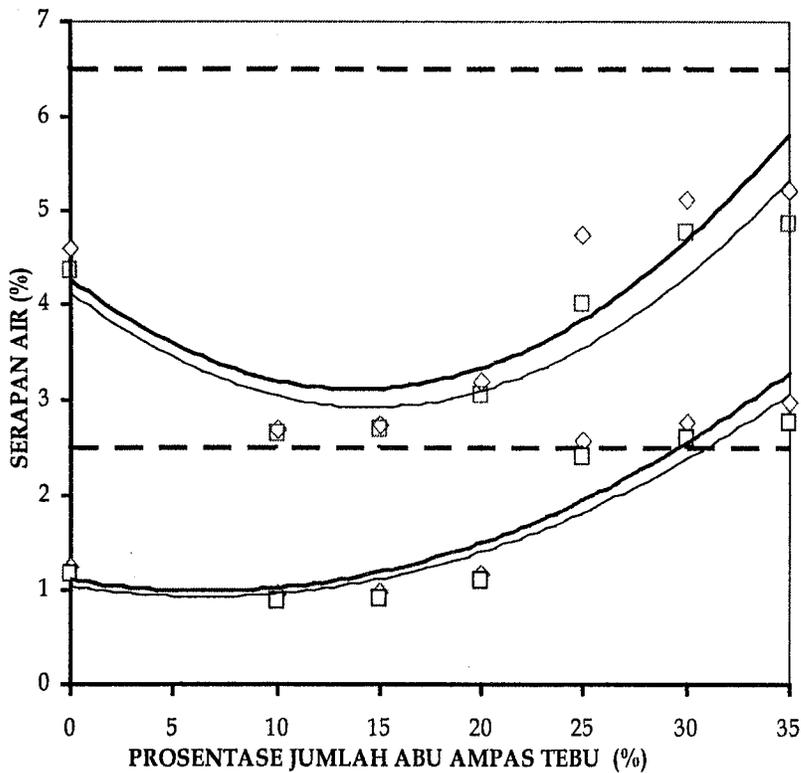
28 hari, sedangkan serapan air untuk benda uji yang berumur 56 hari dapat dilihat pada Tabel 8. Penambahan abu ampas tebu sebesar 15 % merupakan nilai optimum jumlah ampas tebu untuk meningkatkan kekedapan beton, karena hal ini menyebabkan tingkat serapan air yang paling kecil, terutama untuk umur beton dalam jangka yang lama.

Tabel 7 Serapan air untuk umur benda uji 28 hari

No	Kode	Serapan air setelah direndam selama 10 + 0,50 menit (%)	Serapan air setelah direndam selama 24 jam (%)
1.	B0AAT	1,223	4,610
2.	B10AAT	0,953	2,688
3.	B15AAT	0,974	2,729
4.	B20AAT	1,159	3,177
5.	B25AAT	2,562	4,749
6.	B30AAT	2,760	5,126
7.	B35AAT	2,972	5,210

Tabel 8 Serapan air untuk umur benda uji 56 hari

No	Kode	Serapan air setelah direndam selama 10 + 0,50 menit (%)	Serapan air setelah direndam selama 24 jam (%)
1.	B0AAT	1,158	4,375
2.	B10AAT	0,889	2,645
3.	B15AAT	0,832	2,600
4.	B20AAT	1,096	3,030
5.	B25AAT	2,408	4,013
6.	B30AAT	2,579	4,780
7.	B35AAT	2,755	4,859



Gambar 5 Grafik serapan air

Dari Gambar 5 dapat ditunjukkan bahwa umur benda uji semakin besar, maka serapan

airnya akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena pada saat terjadi proses hidrasi,

jaringan kapiler yang berada dalam pasta semakin lama semakin rusak karena blokade dari terbentuknya C-H-S

Pengujian Rembesan Air

Dari hasil pengujian rembesan air seperti tampak dalam Tabel 9, 10 dan 11 serta Gambar 6, terlihat bahwa untuk tekanan air sebesar 1 bar, 3 bar dan 7 bar kedalaman penetrasi rembesan air pada benda uji B10AAT, B15AAT kurang dari 30 mm, hal

ini menunjukkan bahwa untuk beton dengan penambahan abu ampas tebu sebesar 10 % dan 15 % dapat dikategorikan sebagai beton kedap air agresif kuat. Sedangkan untuk beton kontrol (B0AAT), pada pengujian dengan tekanan air 1 bar, 3 bar dan 7 bar dapat dikategorikan sebagai beton kedap air agresif sedang, karena kedalaman penetrasi air rembesannya lebih besar dari 30 mm tetapi lebih kecil dari 50 mm.

Tabel 9 Kedalaman penetrasi untuk tekanan air sebesar 3 bar selama 24 jam

No	Kode	Kedalaman penetrasi (mm)
1.	B0AAT	30
2.	B10AAT	28
3.	B15AAT	27
4.	B20AAT	39
5.	B25AAT	48
6.	B30AAT	73
7.	B35AAT	86

Tabel 10 Kedalaman penetrasi untuk tekanan air sebesar 7 bar selama 24 jam

No	Kode	Kedalaman penetrasi (mm)
1.	B0AAT	32
2.	B10AAT	29
3.	B15AAT	28
4.	B20AAT	40
5.	B25AAT	58
6.	B30AAT	82
7.	B35AAT	98

Tabel 11 Kedalaman penetrasi untuk tekanan air sebesar 1 bar selama 48 jam

No	Kode	Kedalaman penetrasi (mm)
1.	B0AAT	28
2.	B10AAT	27
3.	B15AAT	26
4.	B20AAT	38
5.	B25AAT	40

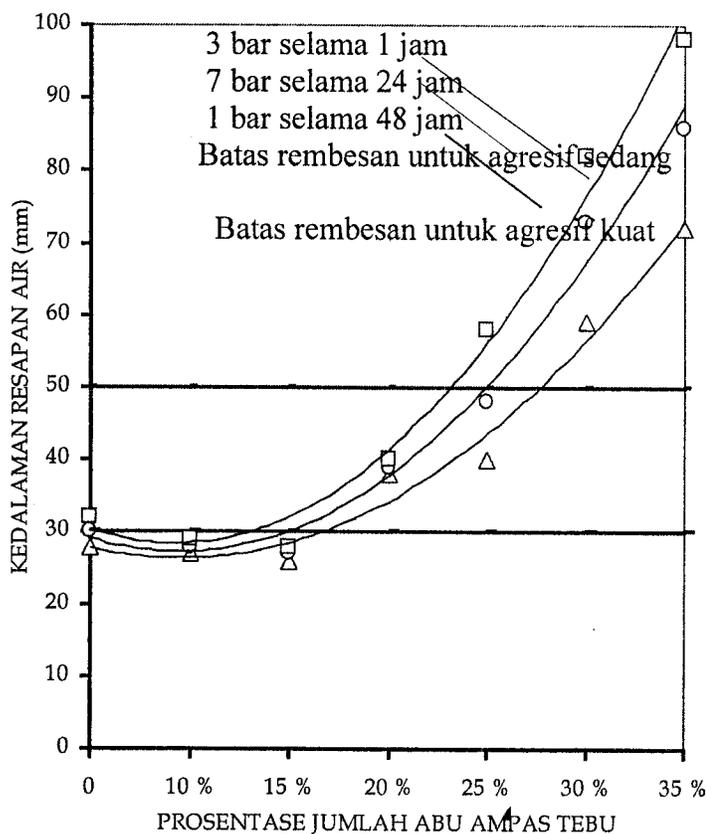
6.	B30AAT	59
7.	B35AAT	72

Dari hasil pengujian diatas jelas bahwa substitusi abu ampas tebu sebesar 10 % dan 15 % dari berat semen dapat meningkatkan kedapapan beton pada taraf agresif kuat, sedangkan untuk beton normal (beton kontrol) dimana dalam campurannya tidak menggunakan substitusi abu ampas tebu, kedapapannya hanya sampai pada taraf agresif sedang.

Hal ini menunjukkan bahwa untuk penambahan abu ampas tebu sebesar 10 % dan 15 % merupakan nilai - nilai optimum

jumlah ampas tebu untuk meningkatkan kedapapan beton, karena menyebabkan tingkat rembesan air yang paling kecil, terutama untuk umur beton dalam jangka yang lama.

Dengan penambahan tekanan air akan menyebabkan penambahan kedalaman air yang cukup besar, sementara penambahan lama waktu juga akan menambahkan kedalaman penetrasi namun besarnya tidak sebesar apabila ditambah tekanannya.



Gambar 6 Grafik kedalaman resapan (rembesan) air pada beton

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian kuat tekan beton, menunjukkan bahwa substitusi abu ampas tebu sebesar 10 – 15 % dari berat semen, dapat meningkatkan kuat tekan beton

terhadap beton kontrol (tanpa substitusi abu ampas tebu).

2. Substitusi abu ampas tebu sebesar 15 % meningkatkan modulus elastisitas beton.
3. Substitusi abu ampas tebu pada campuran beton sebesar 15 %, meningkatkan ketahanan terhadap serangan $MgSO_4$ (zat agresif) pada beton.
4. Substitusi abu ampas tebu sebesar 10 – 20 % dari berat semen, dapat memperkecil serapan dan rembesan air. Serapan dan rembesan air terkecil diperoleh pada substitusi abu ampas tebu sebesar 15 % dari berat semen.
5. Dari penelitian *Atomic Absorbtion Spectrofometry*, *X-Ray Diffraction* dan dari fakta-fakta secara teknis diatas, dapat disimpulkan bahwa abu ampas tebu mempunyai sifat-sifat pozzolan.
6. Secara keseluruhan, substitusi abu ampas tebu sebesar 15 % merupakan nilai optimum penambahan abu ampas tebu sebagai bahan substitusi semen, untuk jangka waktu lama .

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian beton dengan substitusi abu ampas tebu untuk umur beton diatas 90 hari, karena masih ada kecenderungan peningkatan kuat tekan beton yang cukup besar, sebesar 20,09 %, khususnya untuk substitusi abu ampas tebu sebesar 15 % (B15AAT) dari berat semen.
2. Untuk penelitian ketahanan terhadap serangan zat-zat kimia agresif, agar bisa melihat pengaruhnya secara signifikan maka sebaiknya digunakan larutan $MgSO_4$ dengan konsentrasi lebih besar dan atau dengan memperpanjang jangka waktu penelitian.
3. Dari berat isinya yang sangat ringan, dapat dilakukan penelitian penggunaan abu ampas tebu untuk campuran beton ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al - Moudi, OSB, (2002), *Attack on Plain and Blended Cement Exposed to Aggresive Sulfate Environment*, Cement and Concrete Composite 24 305 - 316, Elsevier Science Ltd, USA
- Bing T., and Cohen MD., (2000) *Expansion of Alite Paste Couased by Gypsum Formation During Sulfate Attack*, Journal of Materials in Civil Engineering , February, Vol. 12 No.1, ISSN 0899-1561 CODEN : JM CEE7.
- Cohen,MD., and Mather, B.,(1991), *Sulfate attack on concrete research needs*, ACI Mater.J., 88(1).
- Gambhir, M.L., (1986), *Concrete Technology*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Hernandez, MJF., (1998), *Use Waste of The Sugar Industry as Pozzolana in Lime – Pozzolana Binders : Study of The Reaction*, Cement and Concrete Research, August 4, Vol.28, No.11, pp. 1525 – 1536, Elsevier Science Ltd, USA.
- Kilincakale,F.M., (1997), *The Effect of $MgSO_4$ and HCl Solutions on The Strength and Durability of Pozzolan Cement Mortars*, Cement and Concrete Research, September 23, Vol. 27, No. 12. pp. 1911 – 1918, Elsevier Science Ltd, USA.
- Mindess, S and Young, JF., (1981), *Concrete*, Prentice Hall , Inc , New Yersey.
- Neville, A.M., (1995), *Properties of Concrete*, Fourth Edition, Longman Group Limited, London.
- Priyosulistyo, Sumardi, Sudarmoko, Bambang Suhendro, Bambang Supriyadi, (1997), *Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi untuk Peningkatan Mutu Beton*, Penelitian Hibah Bersaing, DIKTI.

-
- Roux N., Andrade C., and Sajuan MA.,(1996), *Journal of Materials in Civil Engineering* , February, Vol. 8 No.1, ISSN 0899-1561 CODEN : JM CEE7.
- Iman Satyarno, (2000), *Konstruksi Beton Pada Lingkungan Agresif*, PAU Ilmu Teknik, Universitas Gajah Mada , Yogyakarta.
- Singh, NB, (2000), *Hydration of Bagasse Ash – blended Portland Cement, Cement and Concrete Research* 30 (2000) 1485 - 1488, June.
- Supartono, F.X., (1993), *Pengaruh Bahan Pencampur Kimiawi dan Mineral pada Beton Mutu Tinggi*, Seminar High Strenght Concrete : Material and Design, Universitas Kristen Petra, Surabaya.