

PENGARUH ABRASI AIR LAUT TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI DENGAN BAHAN TAMBAH ABU SEKAM PADI

Nabhan¹⁾, Kusno Adi Sambowo²⁾, Endang Rismunarsi³⁾

¹⁾Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

²⁾ ³⁾Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No.36A Surakarta 57126.Telp: 0271647069.

Email : nabhanbalkhi@gmail.com

Abstract

As a maritime nation, the use of concrete in Indonesia can not be separated from sea barrier buildings or breakwater buildings. New methods are held to develop the type of construction materials, both in the construction of the pier (pier, jetties), beacon or bridge as a liaison between islands. Aggressive environment is an area which is dangerous for the durability of concrete. Abrasion, in this case to be one of the important factors that should be studied in concrete durability problems. One of the types of construction materials development is the building block of rice husk ash. The use of rice husk ash for additive materials is one of the added material innovations that can improve the adhesion between the particles so that the concrete into a dense concrete. This study aims to cylindrical specimen of 80 mm diameter and 150 mm high by 40 pieces, for testing the elastic modulus of concrete using the same cylindrical specimen with a compressive strength test and taken 40 % of the compressive strength of 40 pieces. Variations used are high strength concrete with rice husk ash material added to the percentage of 0 %, 13 %, 15 %, 16 %, 17 %, and 20 %. On the analysis of the XRF testing rice husk ash, which obtained the largest content of SiO₂ is equal to 82.59 %, which shows that the silica content of the rice husk ash there is enormous. And it can improve the quality of concrete compressive strength. The test results showed that the use of rice husk ash with added levels of 17 % by weight of cement gives a strong increase in the quality press and the optimum value of modulus of elasticity in aggressive environments. Reaction of calcium chloride (CaCl₂) contained in sea water causes the concrete compressive strength increased more rapidly than normal water treatment at the same age.

Keywords: abrasion of seawater, aggressive environment, Rice Husk Ash Material additive, compressive strength, and Modulus of Elasticity.

Abstrak

Sebagai negara maritim, penggunaan beton di Indonesia tidak lepas dari bangunan-bangunan di tepi pantai ataupun bangunan air. Metode-metode baru dilakukan untuk mengembangkan jenis material bahan bangunan, baik pada konstruksi dermaga (pier, jetties), mercusuar ataupun jembatan sebagai penghubung antar pulau. Lingkungan agresif merupakan daerah yang berbahaya bagi durabilitas beton. Abrasi, dalam hal ini menjadi salah satu faktor penting yang harus dikaji dalam masalah durabilitas beton. Penggunaan bahan tambah abu sekam padi merupakan salah satu inovasi bahan tambah yang mampu meningkatkan kelekatan antar partikel beton sehingga beton menjadi padat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh abrasi gelombang laut terhadap penggunaan bahan tambah abu sekam padi terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Penelitian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk silinder diameter 80 mm dan tinggi 150 mm sebanyak 40 buah, untuk pengujian modulus elastisitas beton menggunakan benda uji silinder yang sama dengan uji kuat tekan dan diambil 40% dari nilai kuat tekan sebanyak 40 buah. Variasi yang digunakan adalah beton mutu tinggi dengan bahan tambah abu sekam padi dengan prosentase 0%, 13%, 15%, 16%, 17%, dan 20%. Pada analisis pengujian XRF abu sekam padi, diperoleh kandungan terbesar yaitu SiO₂ yaitu sebesar 82,59%, yang mana menunjukkan bahwa kandungan silica yang ada pada abu sekam padi sangatlah besar. Dan hal ini bisa meningkatkan mutu kuat tekan beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan bahan tambah abu sekam padi dengan kadar 17% dari berat semen memberikan kenaikan mutu kuat tekan dan nilai modulus elastisitas yang optimum pada lingkungan agresif. Reaksi kalsium klorida (CaCl₂) yang terkandung dalam air laut menyebabkan kuat tekan beton meningkat lebih cepat dibandingkan dengan perlakuan air tawar pada umur yang sama.

Kata Kunci : abrasi air laut, lingkungan agresif, bahan tambah, abu sekam padi, kuat tekan, dan modulus elastisitas

PENDAHULUAN

Waterfront city, merupakan salah satu konsep pembangunan yang mulai banyak dilirik oleh para investor untuk dikembangkan di Indonesia yang notabene merupakan negara maritim. Berkaca pada Singapura, Jepang, Inggris, Amerika, dan beberapa negara lain yang sukses menerapkan konsep ini jauh sebelumnya, membuat pemerintah Indonesia mendukung proyek penerapan konsep ini. Pemaksimalan wilayah pesisir merupakan solusi yang sangat baik untuk meningkatkan perekonomian dan pemerataan pembangunan. Sifat-sifat air laut yang sangat agresif membuat bangunan-bangunan tersebut memerlukan bahan bangunan yang tahan terhadap air laut. Beton menjadi pilihan bahan bangunan yang tepat untuk digunakan di wilayah pesisir dibandingkan dengan baja yang bersifat korosif. Sifat beton yang tahan terhadap korosi, mudah dibentuk, dan mudah dalam pengerjaan sangat menguntungkan untuk pembangunan di wilayah pesisir terutama dalam skala besar. Kuat tekan dan modulus elastisitas merupakan parameter utama mutu beton. Kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin uji. Kuat tekan be-

ton ditentukan oleh perbandingan semen dengan agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambah bila ada. Modulus elastisitas suatu bahan sangat erat hubungannya dengan kekakuan suatu bahan dalam menerima beban. Semakin tinggi modulus elastisitas, semakin kecil lendutan yang mungkin terjadi. Modulus elastisitas besar menunjukkan kemampuan beton untuk menahan suatu beban yang besar dengan kondisi regangan yang kecil. Semakin tinggi nilai kuat tekan beton, akan semakin tinggi pula modulus elastisitasnya. Penggunaan bahan tambah pada beton dapat meningkatkan kualitas beton. Bahan tambah abu sekam padi (RHA) merupakan salah satu inovasi bahan tambah yang mampu meningkatkan kekuatan beton pada dosis tertentu. Bahan tambah abu sekam padi (RHA) sebagai pemanfaatan material limbah lokal yang ada danguna memperoleh beton yang *high strength* yang mana RHA tersebut juga sebagai pengisi (*filler*) terhadap beton.

Tinjauan Pustaka

Lingkungan agresif merupakan daerah yang berbahaya bagi durabilitas beton. Abrasi, dalam hal ini menjadi salah satu faktor penting yang harus dikaji dalam masalah durabilitas beton. Abrasi air laut sangat rawan terhadap serangan kimia, termasuk serangan klorida, garam magnesium, sulfat, dan serangan asam oleh bakteri (Kodoatie dan Sjarief, 2010).

Beton banyak digunakan secara luas sebagai bahan bangunan. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen portland, air, dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambah yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan buangan nonkimia) pada perbandingan tertentu. Campuran tersebut apabila dituangkan dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan (Tjokrodinuljo, 1996).

Penambahan pozolan yang mengandung silika atau alumina ke dalam adukan beton mampu meningkatkan kekuatan pasta. Pozolan silika atau alumina dapat diperoleh di pasaran walaupun belum banyak dijumpai. Untuk menjawab permasalahan keterbatasan dalam memperoleh silika untuk pembuatan beton mutu tinggi, dicoba penggunaan silika alami dari abu sekam padi. Mengingat beton mutu tinggi mensyaratkan nilai faktor air semen yang rendah, maka dapat digunakan digunakan nilai faktor air semen 0,4, 0,32, 0,3, atau 0,28. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, dipilih kadar abu sekam padi yang optimum yaitu 15% dengan silika fume berkadar optimum 9%. Kedua persentase tersebut dihitung berdasarkan berat semen. Benda uji yang berupa silinder beton diuji tekan pada umur 7 dan 28 hari (Ni Nyoman Kencanawati, I Nyoman Merdana, 2012).

Telah diketahui bersama bahwa sifat beton pada umumnya lebih baik jika kuat tekannya lebih tinggi. Dengan demikian untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja (Kardiyono, 1996).

Diketahui bahwa nilai modulus elastisitas meningkat bersama dengan meningkatnya kuat tekan beton, tetapi tidak ada kesepakatan yang mutlak mengenai hubungan antara keduanya. Bagaimanapun, hal itu dapat dijadikan suatu acuan untuk memperkirakan nilai modulus elastisitas dilihat dari nilai kuat tekan yang diperoleh (Sambowo, 2001).

Dasar Teori

(SKSNI T-15-1990-03:1) Definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massapadat.

Semen Portland Jenis I atau biasa disebut OPC adalah semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling klinker semen dan gypsum. Semen Portland Jenis I memenuhi persyaratan SNI No. 15-2049-2004 Jenis I dan ASTM C150-2004 tipe I. Semen jenis ini digunakan untuk bangunan umum dengan kekuatan tekanan yang tinggi (tidak memerlukan persyaratan khusus).

(ASTM C.125-1995) Secara umum bahan tambah dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah kimia (*chemical admixture*) dan bahan tambah mineral (*additive*). Jenis bahan tambah kimiawi untuk beton dikelompokkan dalam 5 kelompok yaitu : *accelerating, air-entraining, water reducer and set-controlling, finely divided mineral* dan *miscellaneous*, yang mana tiap-tiap jenis memiliki fungsi yang berbeda-beda sesuai keperluan yang ada. Jenis bahan tambah mineral (*additive*) berupa *pozzolan* seperti *fly ash, slag, rice husk ash, silica fume* dan lain sebagainya. Yang mana dari bahan tambah mineral ini memiliki fungsi untuk memperbaiki kinerja *workability*, mengurangi panas hidrasi, mempertinggi kuat tekan, daya tahan terhadap serangan-serangan seperti air laut, *sulfat*, reaksi alkali-silika dan lain sebagainya (Cain, 1994:500-508).

Abu Sekam padi atau RHA merupakan bahan berlignoselulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50 % selulosa, 25 – 30 % lignin, dan 15 – 20 % silika (Ismail and Waliuddin, 1996). Sekam padi saat ini telah dikembangkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan

abu yang dikenal di dunia sebagai RHA (*rice husk ash*). Penggunaan abu sekam padi dengan kombinasi campuran yang sesuai pada semen akan menghasilkan semen yang lebih baik (Singh *et al.*, 2002).

Menurut ASTM C494 dan British Standard 5075, *superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif. Dengan pemakaian bahan tambahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama atau diperoleh adukan dengan kekentalan lebih encer dengan faktor air semen yang sama, sehingga kuat tekan beton lebih tinggi.

Beton mutu rendah memiliki kuat tekan kurang dari 20 MPa, sedangkan beton mutu sedang memiliki kekuatan berkisar 20-40 MPa, dan beton mutu tinggi memiliki kekuatan lebih besar dari 40 MPa (Mehta, P Kumar, dan Monteiro, PJM. (1993). *Concrete ~ Structure, Properties, and Materials*. Prentice-Hall, New Jersey.

Abrasi merupakan peristiwa terkikisnya alur-alur pantai akibat gerusan air laut. Gerusan ini terjadi karena permukaan air laut mengalami peningkatan. Naiknya permukaan air laut ini disebabkan mencairnya es di daerah kutub akibat pemanasan global.

Kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin uji. Untuk mendapatkan besarnya tegangan hancur pada benda uji silinder digunakan Persamaan 2.2.:

$$f_c' = \frac{P_{\max}}{A} \dots\dots\dots [1]$$

dengan :

- f_c' = kuat tekan beton yang didapat dari benda uji (MPa)
- P_{\max} = beban tekan maksimum (N)
- A = luas permukaan benda uji (mm²)

Modulus elastisitas merupakan suatu ukuran yang menunjukkan kekakuan dan ketahanan beton untuk menahan deformasi (perubahan bentuk). Suatu bahan apabila dibebani maka akan mengalami deformasi. Perbandingan nilai deformasi dengan ukuran awal benda uji disebut regangan. Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan dalam arah aksial. Semakin tinggi modulus elastisitas suatu bahan maka bahan tersebut semakin kuat menahan tegangan aksial akibat pembebanan dengan regangan yang sekecil mungkin. Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak (*ultimate load*) (Gere, Timoshenko, 2000).

Berdasarkan SKSNI T-15-1991:

$$E_c = 0.043 \times W_c^{1.5} \times f_c'^{0.5} \text{ untuk: } 1500 \leq W_c \leq 2500 \text{ kgf/m}^3$$

$$E_c = 4700 \times f_c'^{0.5} \text{ ; untuk } W_c = \pm 23 - 24 \text{ kN/m}^3 \text{ (beton normal)}$$

dimana: E_c = modulus elastisitas beton (MPa)
 w_c = berat satuan beton (kN/m³)
 f_c = kuat tekan beton uji silinder 28 hari (MPa)

Berdasarkan rekomendasi ASTM C 469-94, perhitungan modulus elastisitas beton yang digunakan adalah *modulus chord*, adapun perhitungan modulus elastisitas *chord* (E_c) dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$\text{Modulus elastisitas } (E_c) = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \dots\dots\dots [2]$$

Dengan:

- E_c = modulus elastisitas (MPa)
- S_2 = tegangan sebesar 40% x f_c' (MPa)
- S_1 = tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal akibat tegangan sebesar 0,00005 (MPa)
- ϵ_2 = regangan longitudinal akibat tegangan S_2

METODE PENELITIAN

Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen yang dimaksud yaitu penelitian dengan tujuan menyelidiki hubungan sebab akibat antara satu sama lain dan membandingkan hasilnya. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian bahan dasar pembentuk beton termasuk bahan tambah abu sekam padi, pengujian kuat tekan beton dan pengujian modulus elastisitas beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan Zat Organik	Kuning muda	Kuning	Memenuhi syarat
Kandungan Lumpur	4 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2.61 gr/cm ³	-	-
<i>Bulk Specific SSD</i>	2.66 gr/cm ³	-	2,5 – 2,7
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2.75 gr/cm ³	-	-
<i>Absorbtion</i>	2,04 %	-	-
Modulus Halus	2.66	2.3 – 3.1	Memenuhi syarat

Tabel 2. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

No	DiameterA- yakan (mm)	Berat Tertahan		Berat Lolos Kumulatif (%)	ASTM C-33
		Gram	%		
1	9,5	0	0	100.00	100
2	4,75	75	2.51	97.49	95-100
3	2,36	232	7.75	89.74	80–100
4	1,18	439	14.67	75.07	50–85
5	0,85	672	22.46	52.61	25–60
6	0,3	1088	36.36	16.24	10–30
7	0,15	408	13.64	2.61	2–10
8	0	78	2.61	0.00	-
	Jumlah	2992	100	433,76	

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2.56 gr/cm ³	-	-
<i>Bulk Specific SSD</i>	2.68 gr/cm ³	-	2,5 – 2,7
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2.91 gr/cm ³	-	-
<i>Absorbtion</i>	4,80 %	-	-
Abrasi	45%	Maksimum 50 %	Memenuhi syarat
Modulus Halus Butir	6,2833	5 - 8	Memenuhi syarat

Tabel 4. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

No	Diamete- rAyakan (mm)	Berat Tertahan		Berat Lolos Kumulatif (%)	ASTM C-33
		Gram	%		
1	12,5 mm	0	0.00	100.00	90-100
2	9,5 mm	989	32.97	67.03	40-70
3	4,75 mm	1872	62.40	4.63	0-15.
4	2,36 mm	139	4.63	0.00	0-5.
5	1.18 mm	0	0.00	0.00	0
6	0.6 mm	0	0.00	0.00	0
7	0.3 mm	0	0.00	0.00	0
8	0.15 mm	0	0.00	0.00	0
9	0 mm	0	0.00	0.00	0
	Jumlah	3000	100,00	171.67	-

Tabel 5. Hasil Uji XRF Abu Sekam Padi

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
SiO ₂	14	82.59%	Fit Spectrum	Si KA1/EQ20
CaO	20	4.81%	Fit Spectrum	Ca KA1/EQ21
K ₂ O	19	3.05%	Fit Spectrum	K KA1/EQ22
Al ₂ O ₃	13	2.05%	Fit Spectrum	AlKA1/EQ23
P ₂ O ₅	15	2.00%	Fit Spectrum	P KA1/EQ24
Fe ₂ O ₃	26	1.65%	Fit Spectrum	Fe KA1/EQ25

MgO	12	1.48%	Fit Spectrum	Mg KA1/EQ26
SO3	16	1.18%	Fit Spectrum	S KA1/EQ27
Cl	17	0.57%	Fit Spectrum	Cl KA1/EQ28
MnO	25	0.29%	Fit Spectrum	Mn KA1/EQ29
TiO2	22	0.16%	Fit Spectrum	Ti KA1/EQ30
Nd2O3	60	0.03%	Fit Spectrum	Nd KA1/EQ31
SrO	38	0.02%	Fit Spectrum	Sr KA1/EQ32
ZnO	30	0.02%	Fit Spectrum	Zn KA1/EQ33
V2O5	23	0.02%	Fit Spectrum	V KA1/EQ34
Rb2O	37	0.01%	Fit Spectrum	Rb KA1/EQ35

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa kandungan SiO₂ (Silika Oksida) pada abu sekam padi merupakan yang paling tinggi, hal ini menunjukkan bahwa material abu sekam padi ini dapat memberikan kontribusi untuk peningkatan mutu beton.

Tabel 6 Rekap Kebutuhan Material Untuk 1 M³

Rekap kebutuhan material untuk 1 m3 beton			
cement		542.53	kg/m3
FA		641.50	kg/m3
CA		1025.87	kg/m3
water		141.44	kg/m3
SP		21.70	kg/m3
	13%	70.53	kg/m3
	15%	81.38	kg/m3
RHA	16%	86.80	kg/m3
	17%	92.23	kg/m3
	20%	108.51	kg/m3
Total non RHA		2373.04	kg/m3

Tabel 7 Nilai *Slumpflow* Beton

No	% ASP	Diameter Slumpflow	Workability
1	0%	16.5 cm	sedang-tinggi
2	13%	15.5 cm	sedang-tinggi
3	15%	15 cm	sedang-tinggi
4	16%	14.5 cm	sedang
5	17%	13 cm	rendah
6	20%	13 cm	rendah

Dari data pengujian kuat tekan dapat diperoleh kuat tekan maksimum beton. Sebagai contoh perhitungan kuat tekan diambil data dari benda uji S-ASP 16% perendaman air laut pada umur 28 hari. Dari hasil pengujian didapat :

$$P_{\max} = 310 \text{ kN} = 310000 \text{ N}$$

$$A = 0.25 \times \pi \times D^2 \times f_d = 0.25 \times \pi \times 80^2 \text{ mm}^2$$

$$= 5024 \text{ mm}^2$$

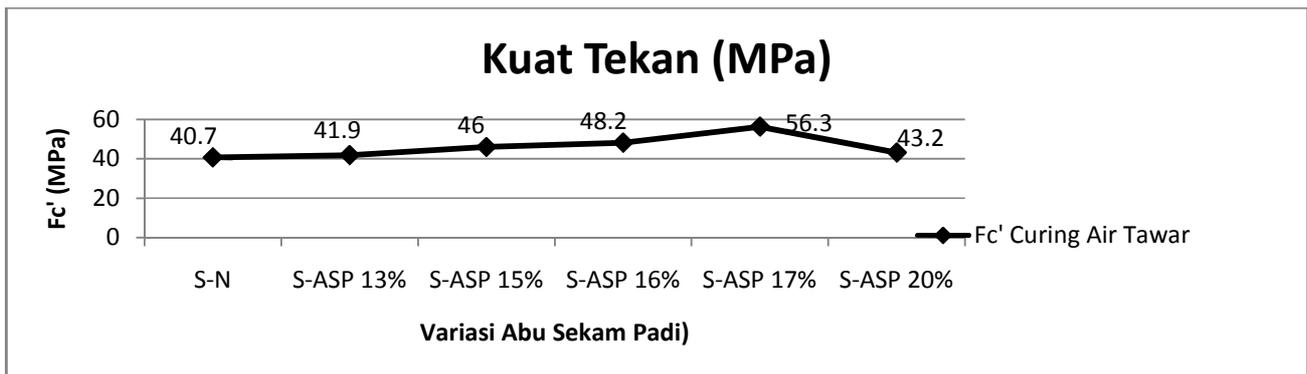
$$\text{Maka } f_c' = \frac{310000 \text{ N}}{5024 \text{ mm}^2 \times f_d} = 61,7 \text{ MPa}$$

Dimana :

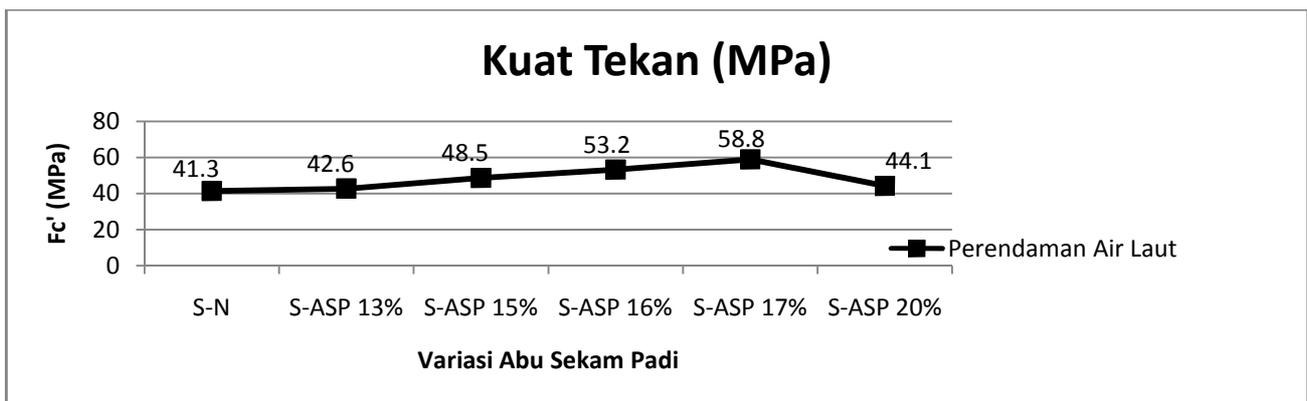
- P_{\max} : Beban Maximum (N)
- A : Area (Luasan Permukaan) (M²)
- F_c' : Nilai Kuat Tekan (MPa)
- f_d : faktor koreksi diameter silinder beton = 1,06

Tabel 8. Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal dan Berbahan Tambah Abu Sekam Padi dengan Variasi Zat Cair

No	% ASP	Kode benda uji	fc' rata-rata (Mpa)		Selisih Kuat Tekan	
			Air Tawar Diam	Air Laut Ber-gerak	Mpa	%
1	0	S-N 1	40.6852	41.3111	0.6259	0.7634
		S-N 2				
		S-N 3				
2	13%	S-ASP 1	41.9371	42.5630	0.6259	0.7407
		S-ASP 2				
		S-ASP 3				
3	15%	S-ASP 1	46.0056	48.5093	2.5037	2.6490
		S-ASP 2				
		S-ASP 3				
4	16%	S-ASP 1	48.1963	53.2037	5.0074	4.9383
		S-ASP 2				
		S-ASP 3				
5	17%	S-ASP 1	56.3334	58.2112	2.5037	2.1739
		S-ASP 2				
		S-ASP 3				
6	20%	S-ASP 1	43.1889	44.1278	0.9389	1.0753
		S-ASP 2				
		S-ASP 3				



Gambar 1. Grafik Hubungan Penambahan Abu Sekam Padi dan Kuat Tekan Beton Curing Air Tawar



Gambar 2. Grafik Hubungan Penambahan Abu Sekam Padi dan Kuat Tekan Beton Curing Air Laut

Diketahui :

Persamaan regresi linier: $y = 32819x$

Kemudian dihitung nilai modulus elastisitas (E_c) menggunakan persamaan 2.6.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.00005}$$

$$S_2 = 0,4 \times f_c'$$

$$= 0,4 \times 46,9445 = 18,7778 \text{ Mpa}$$

Dengan persamaan tegangan-regangan:

$$y = 32819 x$$

Untuk: $S_2 = 18,7778 \text{ MPa} \rightarrow$ didapat $\epsilon_2 = S_2 / f(x) = 18,7778 / 32819 = 0,00057 \text{ mm}$

$\epsilon_1 = 0,00005 \rightarrow$ didapat $S_1 = f(x) \times \epsilon_1 = 32819 \times 0,00005 = 1,64095 \text{ MPa}$

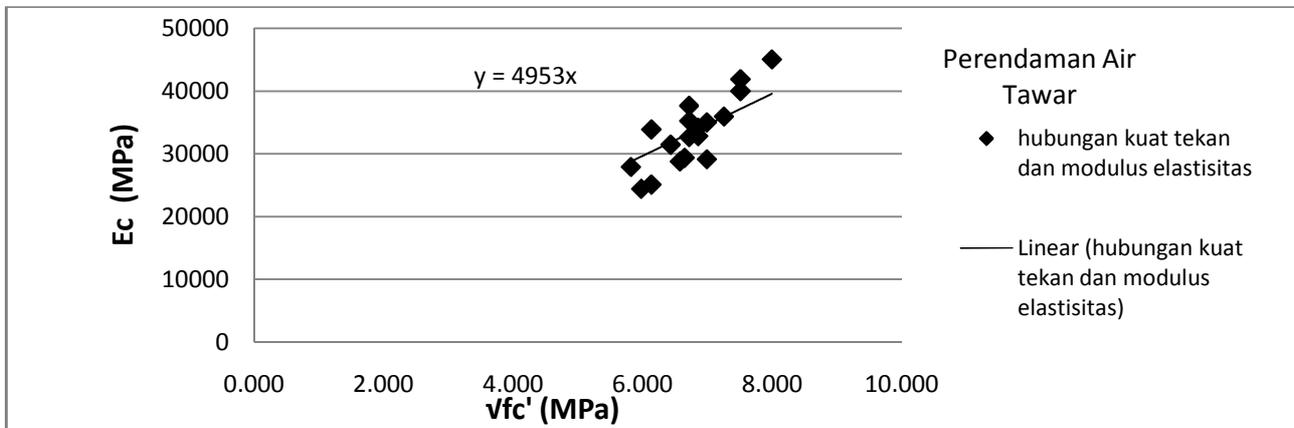
Sehingga nilai modulus elastisitas betonnya adalah:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} = \frac{18,7778 - 1,64095}{0,00057 - 0,00005} = 32819 \text{ MPa}$$

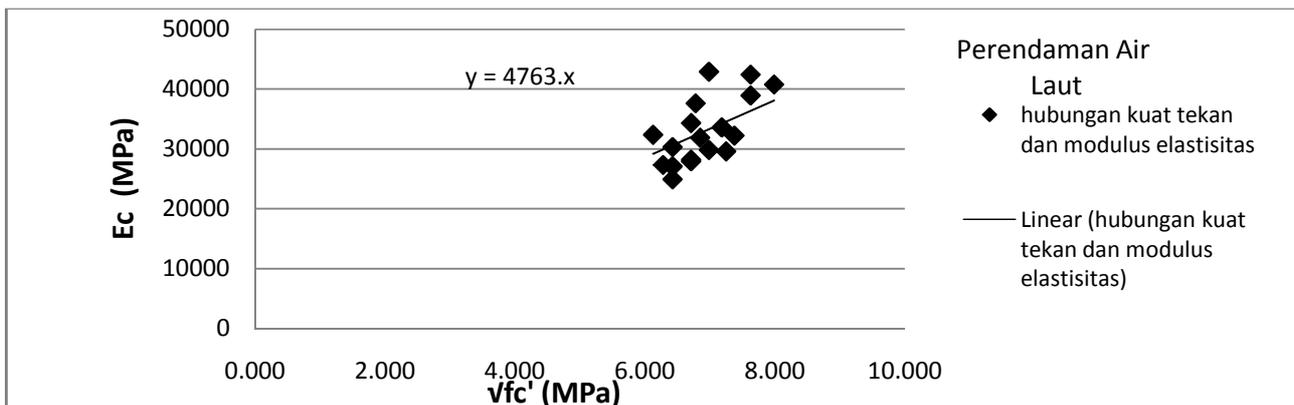
Tabel 9. Pengaruh Bahan Tambah Abu Sekam Padi terhadap Modulus Elastisitas Beton

Jenis Beton	MOE Beton Curing Air Tawar	MOE Beton Perendaman Air Laut	Selisih Modulus Elastisitas	
			MPa	%
S-N	30601.33	28460.33	2141	3.63
S-ASP 13%	31398.33	28713.00	2685	4.47
S-Asp 15%	33206.67	30411.67	2795	4.39
S-Asp 16%	34239.33	37105.33	2866	4.02
S-Asp 17%	38048.67	38436.67	388	0.51
S-Asp 20%	32633.67	34053.33	1420	2.13

Dari hasil pengujian diketahui bahwa peningkatan modulus elastisitas diikuti pula dengan peningkatan kuat tekan. Maka dari itu dapat dicari rumus empiris hubungan antara modulus elastisitas dengan kuat tekan hasil penelitian pada variasi perendaman zat cair air tawar dalam keadaan diam dan air laut dalam keadaan bergerak sebagai permodelan adanya abrasi air laut yang dapat dilihat hasilnya pada gambar 4.1 dan 4.2



Gambar 3. Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan Beton Curing Air Tawar



Gambar 4. Grafik Hubungan Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan Beton Perendaman Air Laut

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan beton pada *curing* air tawar pada penelitian memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 4953 \cdot \sqrt{f_c'}$$

(Rumus empiris hasil regresi *polynomial* dari grafik)

Dan untuk hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan beton pada perendaman air laut pada penelitian memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 4763,5 \cdot \sqrt{f_c'}$$

Sedangkan hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan dalam beton normal memiliki rumus empiris sebagai berikut:

$$E_c = 4730 \cdot \sqrt{f_c'} \quad (\text{ACI 318-89, Revised 1992,1996})$$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f_c'} \quad (\text{SK SNI-T-15-1991})$$

Dimana:

E_c = Modulus elastisitas (MPa)

f_c = Kuat tekan (MPa)

SIMPULAN

Dari hasil pengujian, analisis data, dan pembahasan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan pada beton dengan bahan tambah abu sekam padi lebih tinggi baik dengan perlakuan *curing* air normal maupun perendaman air laut.
2. Kuat tekan rata-rata tertinggi diperoleh pada penambahan abu sekam padi sebanyak 17% dengan perendaman air laut bergerak yaitu sebesar 58,2112 MPa dan rata-rata kuat tekan terendah diperoleh dari pengujian beton normal dengan *curing* air normal diam yaitu sebesar 40,6852 MPa.
3. Hasil kuat tekan beton dengan bahan tambah abu sekam padi dengan perendaman air laut bergerak lebih tinggi dibandingkan dengan *curing* air normal. Hal ini terjadi karena reaksi kalsium klorida (CaCl_2) yang terdapat pada air laut dan beton dapat berfungsi sebagai *accelerator* dan mampu memberikan percepatan yang lebih sehingga kuat tekan pada beton dengan perendaman air laut meningkat lebih cepat dibandingkan kuat tekan *curing* air normal pada umur yang sama.
4. Adanya kandungan kadmium SiO_2 yang tinggi berfungsi meningkatkan lekatan antar partikel sehingga menambah nilai kuat tekan beton.
5. Modulus elastisitas terbesar pada beton dengan bahan tambah abu sekam padi 17% dengan perendaman air laut bergerak yaitu 38436,67 MPa.
6. Kuat tekan dan modulus elastisitas, memiliki hubungan yang berbanding lurus, baik itu dalam perlakuan *curing* air normal diam maupun perendaman air laut bergerak.
7. Pukulan gelombang air laut sebagai indikasi terjadinya abrasi tampaknya belum terlalu berpengaruh terhadap kekuatan beton, baik pada beton normal maupun beton dengan bahan tambah abu sekam padi. Waktu perendaman yang singkat hanya dari umur 2-26 hari menyebabkan perubahan yang dapat dilihat belum terlalu signifikan tetapi tidak menutup kemungkinan dalam jangka panjang justru memberikan efek negatif.

REFERENSI

Gere and Timoshenko. 2000. *Mekanika Bahan*. Jilid I edisi keempat. Erlangga. Jakarta.

Kencanawati, Ni Nyoman dan Merdana, I Nyoman, 2012. *Perbandingan Penggunaan Pozolan Alami (Abu Sekam Padi) dan Pozolan Buatan (Sika Fume) Pada Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi*. Jurnal Teknik REKAYASA, Volume 13, Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Mataram, Mataram.

Kodoatie & Sjarief. 2010. *Jurnal Abrasi*. UPI : Yogyakarta.

Mehta, P Kumar, dan Monteiro, PJM. (1993). *Concrete ~ Structure, Properties, and Materials*. Prentice-Hall, New Jersey.

Sambowo, Kusno Adi. 2001. *Engineering Properties and Durability Performance of Metakaolin and Metakaolin PFA Concrete*. Thesis. Faculty of Engineering at University of Sheffield. Sheffield.

Tjokrodimuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Arif: Yogyakarta.