

# PENGARUH CURING AIR LAUT PADA BETON MUTU TINGGI DENGAN BAHAN TAMBAH ABU SEKAM PADI DITINJAU TERHADAP KUAT TARIK BELAH DAN MODULUS OF RUPTURE

Pricillia Mindrasari<sup>1)</sup>, Kusno Adi Sambowo<sup>2)</sup>, Achmad Basuki<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

<sup>2)</sup> <sup>3)</sup>Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

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

Email : pricilliasari@yahoo.com

## Abstract

*Waterfront city is a development concept that began to be applied in the maritime nations including the Indonesians . The use of concrete in Indonesia can not be separated from the buildings on the waterfront or water building that is often used is the precast concrete is often used in the construction of the pier ( pier , jetties ) , aircraft runway on the beach , beacon or bridge as a liaison between islands . New innovation by using rice husk ash -added materials useful for developing the type of building materials that aim to obtain a high -quality concrete , environmentally friendly , economical , durable , and easy in the process . In the analysis of XRF testing rice husk ash , which obtained the largest content of SiO<sub>2</sub> is equal to 82.59 % , which shows that existing on the silica content of rice husk ash is very large . And it can improve the quality of concrete compressive strength . The test results showed that the addition of rice husk ash added to the high quality concrete affect the value of tensile strength and modulus of rupture sides which will increase to levels 15 % of the weight of cement and 20 % decrease in levels of the cement weight . Reaction of calcium chloride ( CaCl<sub>2</sub> ) contained in sea water causing split tensile strength and modulus of rupture of concrete rising faster than the fresh water treatment at the same age .*

**Keywords:** curing, aggressive environment, admixture rice husk ash, modulus of rupture, and split tensile strength.

## Abstrak

*Waterfront city* merupakan suatu gagasan pembangunan yang mulai banyak diterapkan di negara-negara maritim termasuk Indonesia. Penggunaan beton di Indonesia tidak lepas dari bangunan-bangunan di tepi pantai ataupun bangunan air yang sering digunakan yaitu beton precast yang sering digunakan pada konstruksi dermaga (*pier,jetties*), landasan pacu pesawat di tepi pantai, mercusuar ataupun jembatan sebagai penghubung antar pulau. Adanya inovasi baru dengan menggunakan bahan tambah abu sekam padi yang berguna untuk mengembangkan jenis material bahan bangunan yang bertujuan agar didapat beton yang berkualitas tinggi, ramah lingkungan, ekonomis, tahan lama, dan mudah dalam pengerjaannya. Pada analisis pengujian XRF abu sekam padi, diperoleh kandungan terbesar yaitu SiO<sub>2</sub> yaitu sebesar 82,59%, yang mana menunjukkan bahwa kandungan silika yang ada pada abu sekam padi sangatlah besar. Hal ini bisa meningkatkan mutu kuat tekan beton. Metode penelitian yang dilakukan pada perawatan (*curing*) terhadap benda uji yaitu dengan merendam benda uji pada air normal diam dan air laut yang dalam keadaan bergeraksampai berumur 28 hari dengan pelepasan bekisting selama 1 hari setelah cor. Pada proses *curing*, air laut dan air normal diberi gelombang menggunakan alat abrasi buatan (*power liquid filter*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan bahan tambah abu sekam padi pada beton mutu tinggi mempengaruhi nilai kuat tarik belah dan *modulus of rupture* dimana akan meningkat hingga kadar 15% dari berat semen dan menurun pada kadar 20% dari berat semen. Reaksi kalsium klorida (CaCl<sub>2</sub>) yang terkandung dalam air laut menyebabkan kuat tarik belah dan modulus of rupture beton meningkat lebih cepat dibandingkan dengan perlakuan air tawar pada umur yang sama.

**Kata Kunci :** curing, lingkungan agresif, bahan tambah, abu sekam padi, modulus of rupture, dan kuat tarik belah

## PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu teknologi meningkat dengan pesat, hal ini tidak terlepas dari meningkatnya tuntutan masyarakat akan kebutuhan infrastruktur yang semakin maju. Beton merupakan salah satu pilihan sebagai bahan struktur dalam konstruksi bangunan untuk pemenuhan kebutuhan infrastruktur masyarakat. 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 yang bertujuan agar didapat beton *pre-cast* yang berkualitas tinggi, ramah lingkungan, ekonomis, tahan lama, dan mudah dalam pengerjaannya, baik pada konstruksi dermaga (*pier,jetties*), landasan pacu pesawat di tepi pantai, mercusuar ataupun jembatan sebagai penghubung antar pulau. *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 tarik belah dan *modulus of rupture* merupakan parameter utama mutu beton. Kuat tarik belah dari beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan mejapenekan dan mesin uji-desak. Kuat tarik belah merupakan bagian yang penting di dalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu. Selain kuat tarik belah, pengujian *modulus of rupture* juga merupakan parameter mutu beton. *Modulus of rupture* merupakan dampak dari beton yang mengalami pelenturan akibat beban-beban yang bekerja pada benda uji beton tersebut. Untuk mengetahui kekuatan lentur beton harus dilakukan percobaan yang dapat menggambarkan bagian balok yang hanya menerima beban lentur saja, yaitu meletakkan balok beton pada tumpuan sederhana dengan perletakan berupa sendi rol.

### 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).

Bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas, mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya (Tjokrodinuljo, 1996).

Untuk meningkatkan kekuatan beton, minimal ada tiga konsep dasar yang perlu diikuti, yaitu : pertama adalah peningkatan kekuatan pasta semen, yang biasanya didapatkan dengan mengurangi porositas pasta, dengan mengurangi rasio air-semen dan atau menggunakan water reducing agent. Peningkatan kekuatan pasta semen juga dapat diperoleh dengan pemakaian mineral admixtures seperti mikrosilika atau abu terbang. Kedua adalah dengan pemilihan kualitas agregat yang baik. Ketiga adalah dengan peningkatan kuat lekatan antara pasta semen dengan agregat, yang dapat dilakukan dengan memberikan bahan tambahan seperti klinker atau juga mikrosilika, serta pemilihan bentuk agregat yang sesuai. (Newman J. and Choo BS, 2003). Kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) pada abu sekam padi diperoleh berdasarkan analisis kimia sebesar 87,2% (Ni Nyoman Kencanawati, I Nyoman Merdana, 2012)

Penambahan pozzolan yang mengandung silika atau alumina ke dalam adukan beton mampu meningkatkan kekuatan pasta. Pozzolan 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). Sahureka (1997), menggunakan abu sekam padi yang dibakar pada suhu 600C dengan variasi jumlah (5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%) dari berat semen terhadap kuat tekan dan ketahanan asam pada beton. Kuat tekan maksimum diperoleh pada penambahan abu sekam sebesar 15% dari berat semen. Menurut Priyosulistyo, dkk (1999) penambahan abu sekam sebesar 15% berat semen memberikan peningkatan kuat tekan beton 20%. Dari penelitian (Houston, 1972; Priyosulistyo dkk., 1999), RHA dengan kandungan silika yang cukup tinggi dapat dimanfaatkan sebagai bahan *pozzolan* untuk pembuatan beton. Abu sekam padi memiliki aktivitas pozzolanic yang sangat tinggi sehingga lebih unggul dari SCM lainnya seperti *fly ash*, *slag*, dan *silica fume* (Bakri, Jurnal Perennial, 5(1): 9-14).

Partikel sekam padi yang sangat halus memiliki arti penting dalam proses hidrasi semen. Laju hidrasi akan meningkat dengan berkurangnya ukuran partikel sehingga dapat meningkatkan kekuatan pasta semen (Dermibas, 2004). Selain itu abu sekam padi yang memiliki ukuran partikel lebih kecil dari semen dapat berfungsi sebagai microfiller untuk meningkatkan kerapatan komposit semen (Nehdi, 2004). Kekuatan dan durabilitas pada beton dipengaruhi oleh jumlah pori yang terkandung pada beton tersebut. Pasta semen yang mengeras memiliki struktur

yang berpori (Tjokrodimuljo, 1996).Beton mempunyai kecenderungan berongga akibat adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk lama atau sesudah pencetakan (Murdock and Book, 1999) sehingga beton tidak bisa kedap air sempurna. Kandungan pori yang terlalu banyak pada beton mengakibatkan beton tersebut menjadi poros sehingga zat-zat perusak dapat mudah masuk ke dalam beton.

Nilai kuat tekan dan kuat tarik beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya.Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9%-15% dari kuat tekannya.Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit diukur.Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture* adalah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur balok beton polos sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik bahan beton juga ditentukan melalui pengujian *split cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik beton bertulang yang sebenarnya(Istimawan, 1999).

**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 massa padat.

Semen Portland Jenis I atau biasa disebut OPC adalah semen hidrolik 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).

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.

Pengujian *split cylinder* menggunakan benda uji silinder beton berdiameter 76,5 mm dan panjang 150 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas plat penguji kemudian beban tekan merata ke arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai *split cylinder strength*. Besarnya tegangan tarik pada beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f_{st} = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{1}{2}\pi DL} = \frac{2P}{\pi DL} \dots\dots\dots [1]$$

dimana:

- $f_{st}$  = kuat tarik belah beton (N/mm<sup>2</sup>)  
 $P$  = beban maksimum yang diberikan (N)  
 $D$  = diameter silinder (mm)  
 $L$  = panjang silinder (mm)  
 $A$  = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Pengertian *modulus of rupture* adalah kuat tarik maksimum yang secara teoritis dicapai pada serat bagian bawah dari sebuah balok uji. Nilainya bergantung pada dimensi dari balok uji dan susunan beban (Neville, 1987). Besar MOR pada beton dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma = MOR = \frac{PL}{bd^2} \dots\dots\dots [2]$$

**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 tarik belah beton dan pengujian *modulus of rupture* 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 <sup>3</sup>	-	-
<i>Bulk Specific SSD</i>	2.66 gr/cm <sup>3</sup>	-	2,5 – 2,7
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2.75 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Absorbtion</i>	2,04 %	-	-
Modulus Halus	2.66	2.3 – 3.1	Memenuhi syarat

Tabel 2. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

No	Diameter		Berat Tertahan		Berat Lolos	ASTM C-33
	Ayakan (mm)	Gram	%	Kumulatif(%)	Kumulatif (%)	
1	9,5	0	0	0	100.00	100
2	4,75	75	2.51	2.51	97.49	95-100
3	2,36	232	7.75	10.26	89.74	80–100
4	1,18	439	14.67	24.93	75.07	50–85
5	0,85	672	22.46	47.39	52.61	25–60
6	0,3	1088	36.36	83.76	16.24	10–30
7	0,15	408	13.64	97.39	2.61	2–10
8	0	78	2.61	100.00	0.00	-
	Jumlah	2992	100	366,24	433,76	

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2.56 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<i>Bulk Specific SSD</i>	2.68 gr/cm <sup>3</sup>	-	2,5 – 2,7
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2.91 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
<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	Diameter		Berat Tertahan		Berat Lolos	ASTM C-33
	Ayakan (mm)	Gram	%	Kumulatif(%)	Kumulatif (%)	

1	12,5 mm	0	0.00	0.00	100.00	90-100
2	9,5 mm	989	32.97	32.97	67.03	40-70
3	4,75 mm	1872	62.40	95.37	4.63	0-15.
4	2,36 mm	139	4.63	100.00	0.00	0-5.
5	1.18 mm	0	0.00	100.00	0.00	0
6	0.6 mm	0	0.00	100.00	0.00	0
7	0.3 mm	0	0.00	100.00	0.00	0
8	0.15 mm	0	0.00	100.00	0.00	0
9	0 mm	0	0.00	100.00	0.00	0
Jumlah		3000	100,00	728.33	171.67	-

Tabel 5. Hasil Uji XRF Abu Sekam Padi

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
SiO2	14	82.59%	Fit Spectrum	Si KA1/EQ20
CaO	20	4.81%	Fit Spectrum	Ca KA1/EQ21
K2O	19	3.05%	Fit Spectrum	K KA1/EQ22
Al2O3	13	2.05%	Fit Spectrum	AlKA1/EQ23
P2O5	15	2.00%	Fit Spectrum	P KA1/EQ24
Fe2O3	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 5 dapat diketahui bahwa kandungan SiO<sub>2</sub> (Silimka Oksida) yang terkandung dalam sekam padi sangat tinggi yaitu sebesar 82,59%.Dapat dilihat pada reaksi kimia berikut :

1. Reaksi kimia hidrasi semen tanpa abu sekam padi  
 $OPC + H_2O \longrightarrow CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O + Ca(OH)_2$
2. Reaksi kimia hidrasi semen dengan abu sekam padi



SiO<sub>2</sub> berperan sangat penting saat terjadinya hidrasi semen dimana SiO<sub>2</sub> dapat bereaksi dengan Ca(OH)<sub>2</sub> yang merupakan sisa hidrasi semen yang sudah tidak berguna lagi dengan menghasilkan silikat hidrat (CSH) sebagai mana yang dihasilkan hidrasi semen yang memberikan kekuatan pada beton kerasnya dan dapat menambah keuletan antar partikel penyusunnya.

Selain CSH hidrasi semen juga menghasilkan kalsium hidroksida (CH) yang sangat dikendalikan oleh alite (C3S) dan balite (C2S) yang dapat menghasilkan CH dan CSH yang berbeda, jumlah CH yang dihasilkan C3S tiga kali lebih banyak daripada C2S, CH yang terbentuk pada proses hidrasi berbentuk hexagonal dan menempati 20-25% volume pasta semen tetapi tidak memberikan kontribusi kekuatan pada semen. CSH merupakan gel kaku yang tersusun oleh partikel sangat kecil dengan susunan lapisan yang cenderung mebentuk formasi agregat yang akan memberikan kekuatan pada beton(Bakrie,2008).

Tabel 6 Rekap Kebutuhan Material Untuk 1 m<sup>3</sup>

Sekam Padi		Superplastisizer		Semen	Agregat Halus	Agregat Kasar	Air
%	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>				
0%	0,00	1.5%	7.59	505.73	709.89	1080.37	167.09
Tabel 6 (Lanjutan)							
5%	25.24	1.9%	9.69	504.85	709.89	1080.37	165.27
10%	50.40	2.3%	11.79	503.98	709.89	1080.37	163.45
15%	75.47	2.8%	13.88	503.11	709.89	1080.37	161.63
20%	100.45	3.2%	15.96	502.24	709.89	1080.37	159.83

Tabel 7 Nilai *Slumpflow* Beton

No	Sekam Padi (%)	Superplastisizer (%)	Diameter <i>Slum Flow</i> (cm)	<i>Workability</i>
1	0%	1.5%	16.5	sedang-tinggi
2	5%	1.9%	16.5	sedang-tinggi
3	10%	2.3%	16.5	sedang-tinggi
4	15%	2.8%	16	sedang-tinggi
5	20%	3.2%	16	sedang-tinggi

Dari data pengujian kuat tarik belah dapat diperoleh kuat tarik belah maksimum beton. Sebagai contoh perhitungan kuat tarik belah diambil data dari benda uji S-ASP 10% perendaman air laut pada umur 28 hari. Dari hasil pengujian didapat :

$$P = 80 \text{ kN} = 80000 \text{ N}$$

$$\pi \times D \times L = \pi \times 75,6 \times 150 = 36387,18 \text{ mm}^2$$

maka Kuat Tarik Belah :

$$f_{st} = \frac{2P}{\pi D L f d} = \frac{2 \times 80000}{36387,13 \times 1,06} = 4,19 \text{ MPa}$$

Dimana :

- $P_{\max}$  : Beban Maximum (N)  
 $A$  : Area (Luasan Permukaan) ( $\text{m}^2$ )  
 $f_{st}$  : Nilai Kuat Tarik Belah (MPa)  
 $f d$  : faktor koreksi diameter silinder beton = 1,06

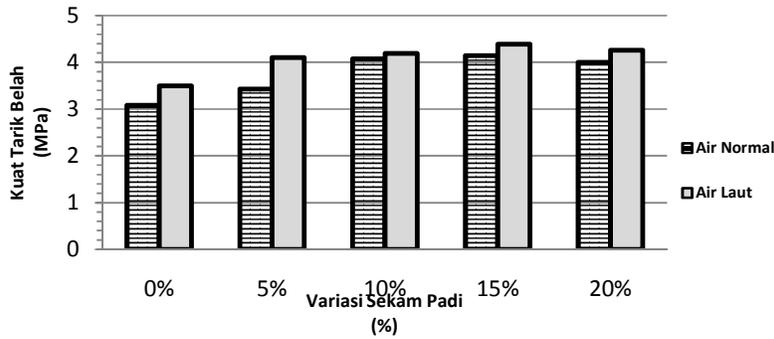
Tabel 8. Perbandingan Kuat Tarik Belah Beton dengan *Curing* Air Tawar Diam dengan Perendaman Air Laut Bergerak

No	Variasi Abu sekam Padi (%)	Kode Benda Uji		Rata-rata Kuat Tarik Belah			
		Air tawar diam	Air Laut Bergerak	Air tawar diam (kN)	Air Laut Bergerak (kN)	Air tawar diam (MPa)	Air Laut Bergerak (MPa)
1	0%	SN-1	SL-1	58	66.67	3.08	3.49
		SN-2	SL-2				
		SN-3	SL-3				
		SN-4	SL-4				
2	5%	SASP-5%N-1	SASP-5%L-1	65.00	76.67	3.43	4.10
		SASP-5%N-2	SASP-5%L-2				
		SASP-5%N-3	SASP-5%L-3				
		SASP-5%N-4	SASP-5%L-4				
3	10%	SASP-10%N-1	SASP-10%L-1	75.00	80.00	4.08	4.19
		SASP-10%N-2	SASP-10%L-2				
		SASP-10%N-3	SASP-10%L-3				
		SASP-10%N-4	SASP-10%L-4				
4	15%	SASP-15%N-1	SASP-15%L-1	80.75	83.75	4.15	4.39
		SASP-15%N-2	SASP-15%L-2				
		SASP-15%N-3	SASP-15%L-3				
		SASP-15%N-4	SASP-15%L-4				
5	20%	SASP-20%N-1	SASP-20%L-1	74.38	81	4.00	4.26
		SASP-20%N-2	SASP-20%L-2				
		SASP-20%N-3	SASP-20%L-3				
		SASP-20%N-4	SASP-20%L-4				

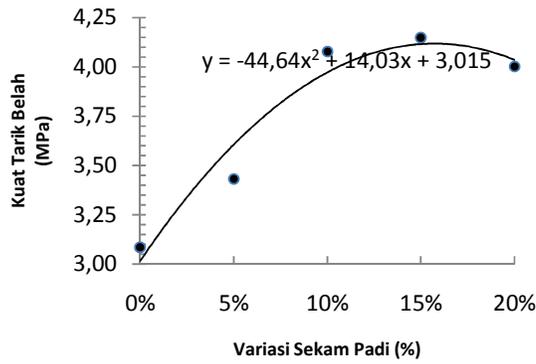
Pada pengujian modulus pengujian, semua benda uji patah pada bagian bentang tengah efektif sehingga dapat dilakukan perhitungan. Sebagai contoh, diambil perhitungan pada beton dengan bahan tambah abu sekam padi 0% dan perilaku *curing* menggunakan air normal berikut :

$$P_{maks} = 75 \text{ kgf/cm}^2$$

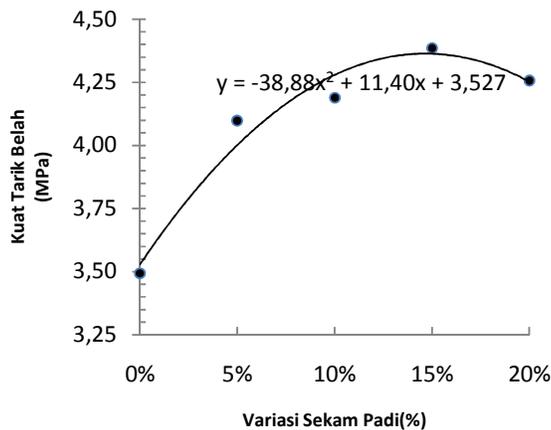
$$\begin{aligned} \text{Luas hidraulik} &= \frac{1}{4} \pi \times 4,01^2 &&= 12,6293 \text{ cm}^2 \\ \text{Sehingga :} &&& \\ P_{maks} &= 75 \times 12,6293 \times 9,81 &&= 9291.99 \text{ N} \\ \text{Maka Modulus of Rupture :} &&& \\ \text{MOR} &= \frac{PL}{bd^2} = \frac{9291.99 \times 300}{100 \times 100^2} &&= 2.79 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar 1. Perbandingan Kuat Tarik Belah Beton Curing Air Tawar Diam dengan Perendaman Air Laut Bergerak



Gambar 2. Kurva Kuat Tarik Belah Beton Berbahan Tambah Abu Sekam Padi Curing Air Tawar Diam

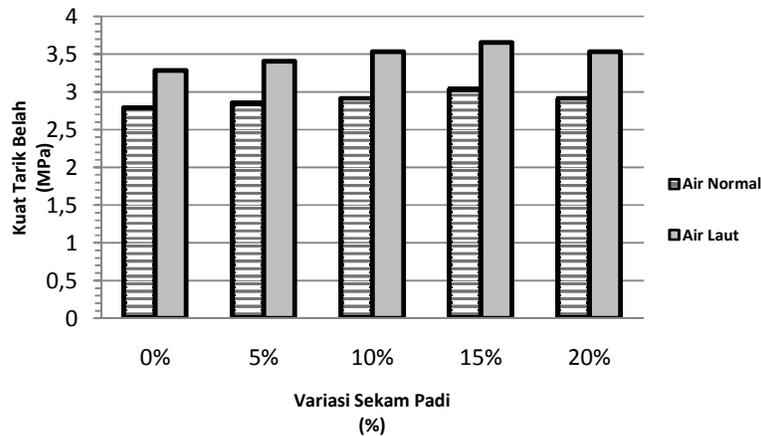


Gambar 3. Kurva Kuat Tarik Belah Beton Berbahan Tambah Abu Sekam Padi Curing Air Laut Bergerak

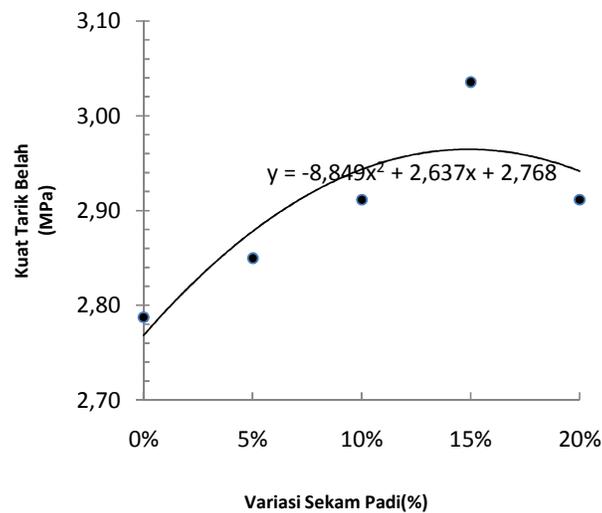
Tabel 9. Pengaruh Bahan Tambah Abu Sekam Padi terhadap Modulus of Rupture Beton

No	Variasi Abu sekam	Kode Benda Uji		Beban Maksimum		MOR	
		Air Tawar Diam	Air Laut Bergerak	Air Tawar Diam	Air Laut Bergerak	Air Tawar	Air Laut Bergerak

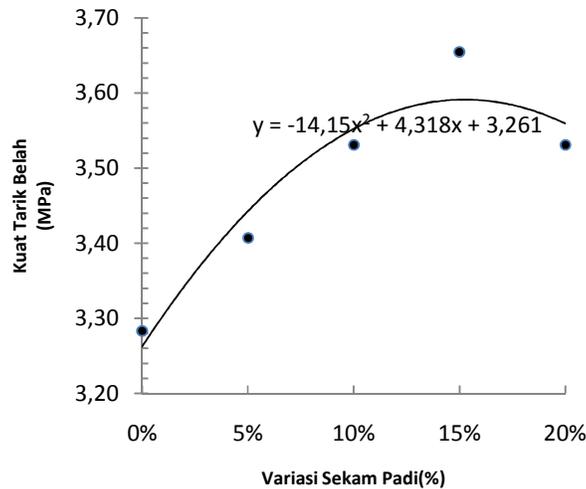
	Padi (%)			(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kN)	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kN)	Diam	
								MPa	MPa
1	0%	BN-1	BN-1	75	9292	88	10944	2.79	3.28
		BN-2	BN-2						
		BN-3	BN-3						
2	5%	BASP-5%N-1	BASP-5%L-1	77	9498	92	11356	2.85	3.41
		BASP-5%N-2	BASP-5%L-2						
		BASP-5%N-3	BASP-5%L-3						
3	10%	BASP-10%N-1	BASP-10%L-1	78	9705	95	11770	2.91	3.53
		BASP-10%N-2	BASP-10%L-2						
		BASP-10%N-3	BASP-10%L-3						
4	15%	BASP-15%N-1	BASP-15%L-1	82	10118	98	12183	3.04	3.65
		BASP-15%N-2	BASP-15%L-2						
		BASP-15%N-3	BASP-15%L-3						
5	20%	BASP-20%N-1	BASP-20%L-1	78	9704	95	11770	2.91	3.53
		BASP-20%N-2	BASP-20%L-2						
		BASP-20%N-3	BASP-20%L-3						



Gambar 4. Perbandingan Modulus of Rupture Beton dengan Curing Air Tawar Diam dengan Perendaman Air Laut Bergerak



Gambar 5. Kurva Modulus of Rupture Beton Berbahan Tambah Abu Sekam Padi Curing Air Diam



Gambar 6. Kurva *Modulus of Rupture* Beton Berbahan Tambah Abu Sekam Padi *Curing* Air Laut Bergerak

## SIMPULAN

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

1. Penambahan bahan tambah abu sekam padi pada beton mutu tinggi mempengaruhi nilai kuat tarik belah dan *modulus of rupture* dimana akan meningkat hingga kadar abu sekam padi 15% dari berat semen dan menurun pada kadar 20% dari berat semen.
2. Penambahan bahan tambah abu sekam padi pada beton mutu tinggi umur 28 hari dengan *curing* di lingkungan agresif (*perendaman* air laut bergerak) dapat meningkatkan nilai kuat tarik belah dan *modulus of rupture* dibandingkan beton mutu tinggi *curing* di air normal yang diam..

## REFERENSI

- American Society For Testing and Materials C 125-03. 2003. *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. ASTM International. Philadelphia 19428-2959 United States.
- American Society For Testing and Materials. ASTM C 78-02. 2002. *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. ASTM International, Philadelphia 19428-2959 United States.
- 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.