

# PENGARUH *FOAM AGENT* DAN *POLYCARBOXYLATE* TERHADAP KUAT TEKAN BETON RINGAN STRUKTURAL

Sumiati, Mahmuda, Sukarman, Siswa Indra  
Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya  
Jl.Srijaya Negara Bukit Besar Palembang, Indonesia  
e\_mail : sumiati@polsri.ac.id

*Abstrak — Beton mempunyai kuat tekan yang rendah dan tidak sebanding dengan beratnya. Kuat tekan beton ringan sebanding dengan density nya, di mana semakin tinggi kuat tekan beton, maka semakin tinggi density nya dan sebaliknya. Beton ringan dapat dibuat dengan mengganti agregatnya dengan agregat ringan atau dengan membuat foam pada campuran mortarnya. Penelitian ini akan menggunakan pecahan batu bata sebagai agregat kasar untuk mengurangi berat beton ringan dan mengganti sebagian pasir dengan abubatu, sehingga akan didapat suatu gradasi agregat gabungan berdasarkan SNI 03-2834-1993. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari pada benda uji ber diameter  $\pm 15$  cm dan tinggi  $\pm 30$  cm, sebanyak 60 sampel. Foaming agent yang ditambahkan bervariasi 0-3,5% dari berat air dan Polycarboxylate Ether bervariasi 0,5%-1,5% terhadap berat semen. Penggunaan foaming agent sangat berpengaruh terhadap kuat tekan, berat jenis dan porositas beton ringan. Kuat tekan beton ringan struktural  $>17,42$  MPa didapatkan pada penambahan foaming agent sebesar 0,5% dan 1,5 % serta Polycarboxylate sebesar 0%. Sedangkan jika menggunakan Polycarboxylate sebesar 0,5% dan Foaming agent bervariasi 1,5%; 2,5% dan 3,5% akan didapatkan kuat tekan  $>21,67$  MPa serta berat jenis yang memenuhi persyaratan sebagai beton ringan struktural (SNI 03-3449-2002).*

*Kata kunci : Foam, Polycarboxylate, beton Ringan, Kuat Tekan.*

*Abstract — Concrete has a low compressive strength and is not proportional to its weight. The compressive strength of lightweight concrete is proportional to its density, where the higher the compressive strength of concrete, the higher its density and vice versa. Lightweight concrete can be made by replacing the aggregate with a lightweight aggregate or by making foam in the mortar mixture. This study will use brick fragments as coarse aggregates to reduce the weight of lightweight concrete and replace some sand with fly ashes, so that a aggregate gradation will be obtained based on SNI 03-2834-1993. Compressive strength testing was carried out at 28 days on specimens with a diameter of  $\pm 15$  cm and height of  $\pm 30$  cm, as many as 60 samples. The added of foaming agent varies from 0-3.5% by weight of water and the variety of Polycarboxylate Ether adding is from 0.5% to 1.5% by weight of cement. The use of foaming agents greatly affects the compressive strength, specific gravity and porosity of lightweight concrete. Compressive strength of structural lightweight concrete  $>17.42$  MPa was obtained by foaming agents adding of 0.5% and 1.5% and Polycarboxylate of 0%. Whereas if using Polycarboxylate is 0.5% and Foaming agent varies 1.5%; 2.5% and 3.5% will be obtained compressive strength  $>21.67$  MPa and specific gravity that eligible for structural lightweight concrete (SNI 03-3449-2002).*

*Keywords: Foam, Polycarboxylate, lightweight concrete, Compressive strength.*

## I. PENDAHULUAN

Beton adalah suatu massa yang terdiri dari agregat yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Beton mempunyai kelemahan yaitu rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton yaitu berkisar  $2300 \text{ kg/m}^3$ , hal ini akan sangat berpengaruh pada struktur-struktur bentang-panjang, di mana berat beban mati beton yang besar akan sangat

mempengaruhi momen lentur dan struktur tahan gempa.

Kuat tekan beton ringan sebanding dengan berat jenis/density nya dan berbanding terbalik dengan porositasnya, dimana semakin tinggi kuat tekan beton, maka semakin tinggi berat jenisnya namun porositasnya semakin rendah.

Beton ringan struktural pada umumnya mempunyai berat jenis/density antara  $1440 \text{ kg/m}^3$ - $1850 \text{ kg/m}^3$  dan kuat tekan pada umur 28

hari berkisar >17,42 MPa, karena itu keunggulan beton ringan yang utama adalah pada beratnya dan hal ini membuat beton ringan mempunyai ketahanan yang lebih baik terhadap gempa bumi.

Beton ringan (*Lightweight Concrete*) dapat dibuat dengan mengganti agregatnya dengan agregat ringan atau dengan membuat busa (*foam*) pada campuran mortarnya. Agregat ringan dapat berupa alami dan buatan, seperti: batu apung, *skoria/tufa*, sedangkan agregat ringan buatan adalah agregat yang dibuat dengan membekahkan melalui proses pemanasan bahan-bahan, seperti terak dari peleburan besi, tanah liat, *diatome*, abu terbang, abu sabak, batu serpih, batu lempung, *perlit* dan *vermikulit* (SNI 03-3449-2002). Beton ringan *foam* dibuat dari pasir silika, kapur, semen, air, ditambah dengan suatu bahan pengembang (*foam*).

Batu bata mempunyai berat jenis 1700 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan batu pecah mempunyai berat jenis 2200 kg/m<sup>3</sup>. Apabila ditinjau dari bahan baku dan proses pembuatannya batu bata dapat dikategorikan sebagai batu lempung. Jadi limbah pecahan batu bata dapat digunakan sebagai agregat kasar pada beton ringan struktural karena mempunyai berat yang lebih ringan dari batu pecah.

*Foam Agent* adalah larutan pekat dari bahan surfaktan detergent (CH<sub>3</sub>(CH<sub>12</sub>)<sub>15</sub>OSO<sub>3</sub>-NA<sup>+</sup>). *Foam Agent* saat dicampurkan dengan kalsium hidroksida yang terdapat pada pasir dan air akan bereaksi sehingga membentuk hidrogen. Gas hidrogen ini membentuk gelembung-gelembung udara di dalam campuran beton.

*Admixture* yang berbahan dasar Polikarbonat (*polycarbonate*) merupakan salah satu jenis *thermoplastic polimer* yang dapat mengurangi penggunaan air, mempunyai sifat mudah dikerjakan (*easily worked*), dicetak (*easily moulded*) dan mudah terbentuk dengan panas (*easily thermoformed*). *Admixture* ini akan menghasilkan gaya tolak-menolak (*dispersion*) yang cukup antara partikel semen agar tidak terjadi penggumpalan partikel semen yang dapat menyebabkan rongga-rongga udara di dalam beton, yang akhirnya akan mengurangi kekuatan pada beton.

Beton ringan mempunyai keunggulan pada beratnya, namun mempunyai kelemahan pada

daya serap dan kuat tekannya sehingga menjadikan beton ringan rentan terhadap cuaca. Namun jika yang dituntut adalah kekuatan dan keawetan yang tinggi dari suatu beton ringan, maka beberapa faktor yang harus dipertimbangkan, meliputi: faktor air semen (FAS), kualitas agregat kasar/halus, penggunaan *foam agent* dan bahan tambah (*admixture*).

Dalam penelitian ini akan memanfaatkan limbah pecahan batu bata sebagai agregat kasar dan menggantikan sebagian pasir dengan abu batu, menggunakan *foam agent* untuk membuat busa serta menambahkan *admixture polycarboxylate ether* agar didapatkan kuat tekan beton yang tinggi dan mempunyai porositas yang kecil, maka akan diteliti pengaruh penggunaan *foam agent* dan *polycarboxylate ether* terhadap kuat tekan beton ringan struktural. Tujuan utama penelitian ini untuk mendapatkan berat jenis, porositas dan kuat tekan beton ringan, sehingga akan didapatkan klasifikasi beton ringan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-3449-2002).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian beton ringan dengan menggantikan agregatnya dengan agregat ringan atau dengan membuat busa (*foam*) pada mortarnya telah banyak dilakukan diantaranya: Penelitian Muhammad Riaz Ahmad, 2019, dengan menggunakan *Expanded clay aggregate* dan *foam* bervariasi 0-20% didapatkan bahwa semakin banyak *foam* yang digunakan maka berat jenis sebanding dengan kuat tekan beton ringan, di mana semakin ringan berat jenis beton ringan, maka semakin kecil kuat tekan beton.

Penelitian Juan He, 2019, dengan menggunakan *foam*/busa bervariasi 2-3 liter/kg, didapatkan bahwa berat jenis/density beton semakin ringan dengan bertambahnya *foam* sebanding dengan kuat tekan beton, di mana semakin turun. Namun berbanding terbalik dengan porositasnya, di mana porositas semakin besar seiring dengan bertambahnya *foam*.

Penelitian Karolina, 2018, menggantikan pasir dengan abu batu sebesar 15% didapat kuat tekan yang maksimum pada beton ringan untuk panel dinding.

Penelitian Tongwei Liu, 2019, menggunakan *flue gas desulfurized gypsum* (FGD): *fly ash* (FA): semen dengan ratio 6:2:2

dan faktor air semen yang digunakan 0,53 serta *foam agent* yang bervariasi 0-7%, didapatkan bahwa semakin banyak *foam agent* yang digunakan maka berat jenis/density beton ringan semakin kecil yaitu  $450 \text{ kg/m}^3$  pada penggunaan *foam agent* sebesar 7%. Kuat tekan optimum sebesar 1,18 Mpa, didapatkan pada penggunaan *foam agent* sebesar 3%.

Eggidy, dkk, 2016, melakukan penelitian beton geopolimer, didapatkan bahwa kadar *Superplasticizer Polycarboxylate Ether* yang optimum adalah 0,5% sampai 1,0%, karena beton mendapatkan *flow* yang paling mengalir dan mutu dari sifat mekanik beton geopolimer yang baik.

Penelitian Chaocan Zheng, dkk, 2018, menggunakan pecahan batu bata sebesar 20% sebagai pengganti agregat kasar akan didapatkan kuat tekan beton yang sama dengan kuat tekan beton menggunakan batu pecah pada umur 28 dan 56 hari.

Penelitian Sumiati, 2015, berat beton ringan sebanding dan kuat tekannya, semakin ringan beratnya semakin rendah kuat tekannya. Semakin banyak *foam agent* yang ditambahkan berat beton akan semakin ringan. Penggantian agregat halus (pasir) sebesar 40% dengan *fly ash* dan *foam agent* 0,5%, akan didapatkan kuat tekan beton ringan yang optimum.

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilandasi oleh kajian literatur dari beberapa hasil penelitian yang sudah dilakukan serta mensurvey bahan limbah yang belum termanfaatkan. Penelitian akan dilaksanakan di laboratorium Pengujian Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya.

Material yang akan disiapkan untuk pembuatan benda uji yaitu: semen portland type I merk Baturaja. Agregat kasar berupa limbah pecahan batubata berasal dari pabrik setempat (Gambar 1.a). Agregat halus berupa pasir berasal dari sungai Musi dan abubatu dari Bojonegoro.

Bahan pembuat busa/*foam agent* dengan merk ADT (Gambar 1.b dan 1.c) serta *Polycarboxylate Ether* (Gambar 1.d).



Gambar 1. Bahan-bahan yang digunakan

Agregat yang akan digunakan harus diuji terlebih dahulu untuk mengetahui sifat fisiknya apakah memenuhi persyaratan seperti: Analisa Saringan (SNI 03-1968-1990), berat jenis agregat kasar (SNI 03-1969-1990), berat jenis agregat halus (SNI 03-1970-1990), Abrasi *Los Angeles* (SNI 03-2417-2008), Material lolos ayakan No.200 (SNI 03-4142-1996), Kadar organik agregat halus (SNI-03-2816-1992), kekekalan agregat (SNI 03-3407-2008), kekerasan agregat (SNI 03-2461-1991), berat isi agregat (SNI 03-4808-1998).

Beton ringan dibuat dengan komposisi agregat kasar terdiri dari: 50% limbah batu bata sebagai agregat kasar + 25% abu batu + 25% pasir sebagai agregat halus. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi  $\pm 30$  cm, dibuat sebanyak 60 sampel dengan variasi *foam agent* dan *Polycarboxylate Ether* seperti Tabel 1.

Komposisi benda uji semen: pecahan batu bata: abubatu:pasir, yaitu berkisar 1: 0,75: 0.375: 0.375. *Water/cement ratio* (W/C) rencana 0.37 dengan *slump* rencana 5 cm. *Foaming agent* yang ditambahkan bervariasi 0-3.5% dari berat air dan *Polycarboxylate Ether* bervariasi 0,5%-1,5%.

Tabel 1. Komposisi benda uji

Material	Satuan	Foam Agent (%)				
		0	0.5	1.5	2.5	3.5
Semen	kg/m <sup>3</sup>	800	800	800	800	800
Water cement ratio		0,37	0,36	0,34	0,32	0,30
Air	kg/m <sup>3</sup>	296	288	272	256	240
Limbah batu bata	kg/m <sup>3</sup>	600	600	600	600	600
Pasir	kg/m <sup>3</sup>	300	300	300	300	300
Abubatu	kg/m <sup>3</sup>	300	300	300	300	300
slump	cm	5	5	5	5	5
Foaming Agent	Kg/m <sup>3</sup>	0	1,44	4,35	6,40	8,40

Pengujian daya serap air dilakukan setelah benda uji beton direndam terlebih dahulu 24 jam (ASTM C20-04). Untuk mengetahui kuat tekan beton ringan akan dilakukan pengujian kuat tekan pada umur 28 hari dengan alat *Universal Testing Machine* (UTM) dan berpedoman pada (SNI 03-1974: 2011).

Hasil perhitungan kemudian akan dianalisa dengan menggunakan metode regresi dan berpedoman pada Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan (SNI 03-3449-2002), sehingga didapatkan kesimpulan dari penelitian ini.

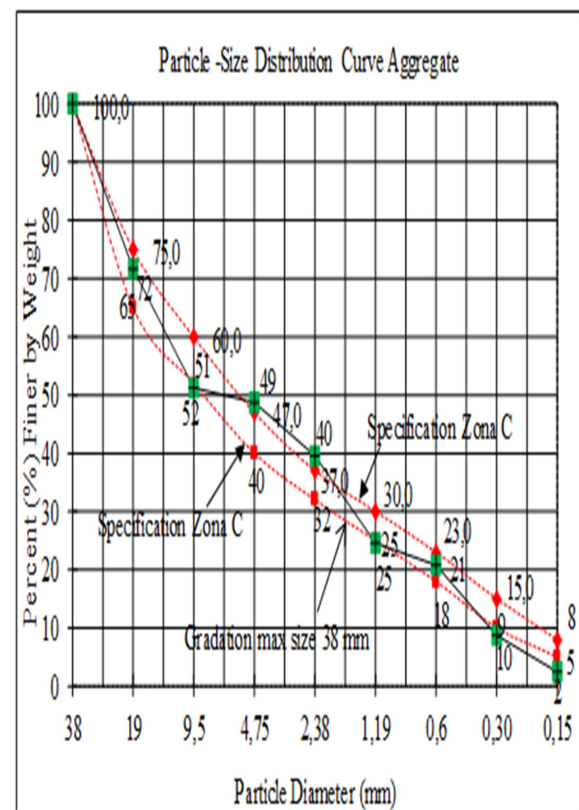
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian sifat fisik bahan pembentuk beton dapat dilihat pada Tabel 2, di mana agregat kasar memenuhi persyaratan (SNI 03-3449-2002), merupakan agregat buatan pabrik melalui proses pembakaran lempung dan mempunyai density 1700 Kg/m<sup>3</sup>. Namun pecahan batubata mempunyai daya serap/absorption lebih besar dari pasir dan abubatu yaitu berkisar 7,5%. Kekerasan dan keausan pecahan batubata berkisar 16.15% dan 32.56%, dapat disimpulkan bahwa pecahan batubata mempunyai sifat yang getas jika dibandingkan dengan abu batu.

Hasil pengujian analisa saringan kemudian dicampur, sehingga didapatkan komposisi agregat kasar/pecahan batu bata: abu batu: pasir, yaitu: 50%: 25%: 25% dan termasuk dalam zona C (SNI 03-3449-2002) dengan butiran besar maksimum 38 mm (Gambar 2).

Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Fisik agregat halus/kasar dan semen

Pengujian	Hasil pengujian				Satuan
	semen	pasir	Abu batu	limbah batu bata	
Berat jenis Bulk/density	3.0	2.43	2.59	1.70	gr/m <sup>3</sup>
Berat jenis saturated-surface-dry (SSD)	-	2.50	2.64	1.89	gr/m <sup>3</sup>
Daya serap	-	2.58	1.89	11.59	%
Material lolos saringan 75µm	-	0.99	0.52	1.0	%
Berat isi	-	1362	1513	1200	kg/m <sup>3</sup>
Kekerasan Agregat	-	-	10,6	16,15	%
Keausan Agregat	-	-	20,3	32,56	%
Kekekalan agregat	-	-	2,8	6,7	%
Kadar organik	-	No.2	-	-	%



Gambar 2 Gradasi Agregat Gabungan

Berat Jenis menggambarkan kerapatan suatu material dan juga dapat menggambarkan kuat tekan/*compressive strength* beton, semakin berat beton maka semakin tinggi *compressive strength* nya. Hasil pengujian kuat tekan/*compressive strength* beton ringan dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3, di mana kuat tekan beton tanpa foaming agent akan meningkat seiring dengan berat jenisnya dengan ditambahkannya *polycarboxylate*, namun turun pada saat penambahan *polycarboxylate* sebesar 1,5% terhadap berat semen. Kuat tekan beton ringan dengan penambahan *foaming agent* akan meningkat seiring dengan berat jenisnya. Semakin bertambah foaming agent dan *polycarboxylate*, maka semakin meningkat Kuat tekan dan berat jenis nya.

Tabel 3. Kuat Tekan Vs Berat Jenis Beton Ringan

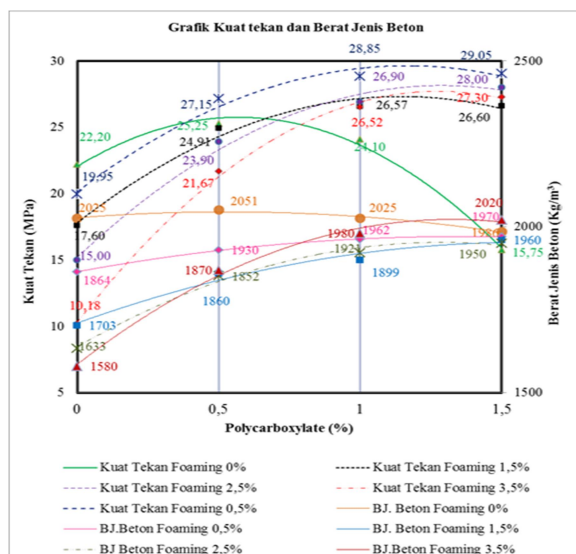
Foaming Agent (%)	Polycarboxylate				
	0	0,5	1,0	1,5	
0	Kuat Tekan (MPa)	22,20	25,25	24,10	15,75
	Berat jenis (Kg/m <sup>3</sup> )	2025	2051	2025	1986
0,5	Kuat Tekan (MPa)	19,95	27,15	28,85	29,05
	Berat jenis (Kg/m <sup>3</sup> )	1864	1930	1962	1970
1,5	Kuat Tekan (MPa)	17,60	24,91	26,57	26,60
	Berat jenis (Kg/m <sup>3</sup> )	1703	1860	1899	1960
2,5	Kuat Tekan (MPa)	15,00	23,90	26,90	28,00
	Berat jenis (Kg/m <sup>3</sup> )	1633	1852	1921	1950
3,5	Kuat Tekan (MPa)	10,18	21,67	26,52	27,30
	Berat jenis (Kg/m <sup>3</sup> )	1580	1870	1980	2020

Porositas beton adalah tingkatan yang menggambarkan kepadatan konstruksi beton. Porositas ini berhubungan erat dengan permeabilitas beton. Porositas merupakan persentase pori-pori atau ruang kosong dalam beton terhadap volume benda (volume total beton). Porositas beton juga dapat menggambarkan besar kecilnya kekuatan beton dalam menyangga suatu konstruksi. Semakin padat beton, maka kekuatannya juga akan semakin besar sehingga dapat menyangga konstruksi yang lebih berat. Sebaliknya, semakin porous beton, maka kekuatannya juga akan semakin lemah sehingga hanya bisa menyangga konstruksi yang ringan dan ketahanannya juga tidak terlalu lama.

Hasil pengujian porositas beton Tabel 4, tanpa penambahan Polycarboxylate didapatkan semakin banyak foaming agent yang ditambahkan, maka semakin besar porositasnya.

Tabel 4 Kuat Tekan Vs Porositas Beton Ringan

Foaming Agent (%)	Polycarboxylate				
	0	0,5	1,0	1,5	
0	Kuat Tekan (MPa)	22,20	25,25	24,10	15,75
	Porositas(%)	3,80	3,20	2,50	1,70
0,5	Kuat Tekan (MPa)	19,95	27,15	28,85	29,05
	Porositas (%)	4,09	3,05	2,20	1,60
1,5	Kuat Tekan (MPa)	17,60	24,91	26,57	26,60
	Porositas (%)	4,54	2,80	1,91	1,40
2,5	Kuat Tekan (MPa)	15,00	23,90	26,90	28,00
	Porositas (%)	4,71	2,50	1,60	1,20
3,5	Kuat Tekan (MPa)	10,18	21,67	26,52	27,30
	Porositas (%)	4,88	2,30	1,21	0,80



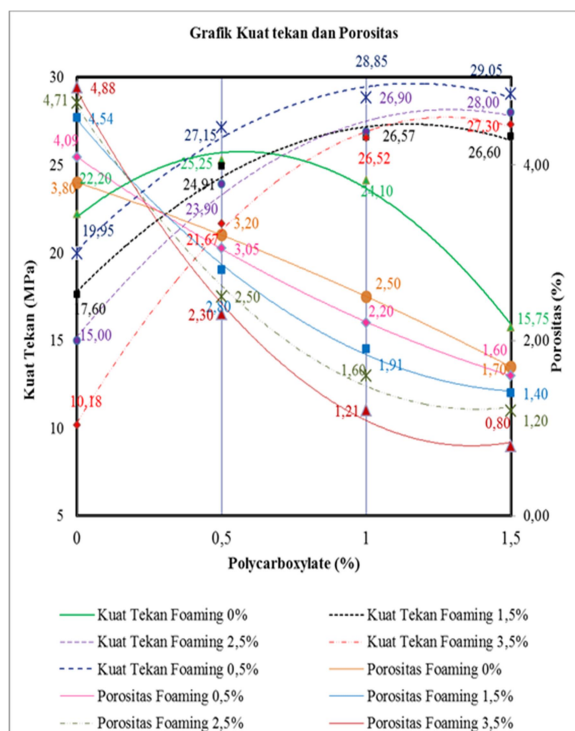
Gambar 3. Kuat Tekan Vs Berat Jenis Beton Ringan

Nilai porositas yang meningkat, menunjukkan bahwa beton memiliki pori yang cukup besar akibat terjadinya penguapan air dan pemuaian material pengisi beton. Porositas beton dapat diakibatkan oleh adanya penambahan *foaming agent* yang bertujuan untuk membuat pori-pori pada beton dengan target untuk mendapatkan beton yang ringan dan mempunyai konduktivitas panas yang rendah serta dapat meredam suara. *Polycarboxylate* merupakan *admixture* yang ditambahkan pada beton segar, diantaranya bertujuan untuk meningkatkan sifat kedap air dan kuat tekan beton. Oleh sebab itu semakin banyak *foaming agent* yang ditambahkan maka semakin banyak pori yang



dihasilkan, namun *admixture Polycarboxylate* berusaha untuk mengisi rongga udara yang terjadi akibat *foaming agent* yang ditambahkan. Hal ini terlihat pada porositas beton ringan, akan semakin kecil dengan bertambahnya *admixture Polycarboxylate*.

Porositas mempunyai suatu korelasi terhadap kuat tekan beton Gambar 4, di mana semakin besar porositasnya maka semakin kecil kuat tekan beton, namun sebaliknya semakin kecil porositasnya maka semakin besar kuat tekan beton.



Gambar 4 Kuat Tekan Vs Porositas Beton Ringan

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, bahwa material yang akan digunakan untuk campuran beton ringan, agar didapatkan hasil yang sesuai dengan rencana, maka disarankan terlebih dahulu harus dilakukan pengujian sifat fisik material dan harus memenuhi Standard Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan.

Apabila ditinjau dari bahan baku dan proses pembuatannya, batu bata dapat dikategorikan sebagai batu lempung dan dapat digunakan sebagai agregat kasar untuk beton ringan, namun harus menggunakan *Foaming agent* 0,5%-1,5%

agar didapatkan berat jenis beton yang lebih ringan dan dapat dikategorikan sebagai beton ringan struktural.

Penggunaan *foaming agent* sangat berpengaruh terhadap kuat tekan, berat jenis dan porositas beton ringan. Pada penggunaan *Foaming agent* sebesar 0,5% dan 1,5 % tanpa penambahan *Polycarboxylate* akan didapatkan beton ringan struktural. Sedangkan jika menggunakan *polycarboxylate* sebesar 0,5% dan *Foaming agent* bervariasi 1,5%; 2,5% dan 3,5% akan didapatkan kuat tekan serta berat jenis memenuhi persyaratan sebagai beton ringan struktural (SNI 03-3449-2002).

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C20-04, "Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water: ASTM International, West Conshohocken.
- Chaocan Zheng, Cong Lou, Geng Du, Xiaozhen Li, Zhiwu Liu, Liqin Li, 2018, Mechanical properties of recycled concrete with demolished waste concrete aggregate and clay brick aggregate: Results in Physics 9 pp. 1317-1322.
- Eggidy P. P, Bernardinus H dan Rulli R. I, 2016, Effect of Polycarboxylate Ether (PCE) Level on Mechanical Properties of Geopolymer Concrete Based on Fly Ash: Reka Racana, Vol. 2 No. 4, december, pp 136-147.
- Juan He, Qie Gao, Xuefeng Song, Xiaolin Bu, Junhong He, 2019, Effect of foaming agent on physical and mechanical properties of alkali-activated slag foamed concrete: Construction and Building Materials 226 pp.280-287.
- Muhammad Riaz Ahmad, Bing Chen, 2019, Experimental research on the performance of lightweight concrete containing foam and expanded clay aggregate: Composites Part B 171 pp. 46-60.

- R Karolina, Y G C Sianipar, 2018, The utilization of stone ash on cellular lightweight concrete, IOP Publishing Series: Materials Science and Engineering 309.
- SNI 03-1968-1990, Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-1969-1990, Metode pengujian berat jenis agregat kasar: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-1970-1990, Metode pengujian berat jenis agregat halus: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2417:2008, Metode Pengujian Abrasi Los Angeles: Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03-4142-1996, Metode pengujian material lolos ayakan No.200: Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03-2816-1992, Metode pengujian kadar organik agregat halus: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2461-1991, Kekerasan dari agregat kasar: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-3407-2008, Cara Uji Sifat Kekekalan Agregat: Badan Standarisasi Nasional
- SNI 03-2461-1991, Kekerasan dari agregat kasar: Badan Standar Nasional.
- SNI 03-4808-1998, Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat: Badan Standar Nasional.
- SNI 03-3449-2002, Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Ringan Dengan Agregat Ringan: Badan Standar Nasional.
- SNI 03-1974-1990, Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder yang dicetak: Badan Standar Nasional.
- Sumiati dan Zainuddin, 2015, Pengaruh Penggunaan Foam Agent dan Fly Ash Untuk Beton Tahan Gempa: Prosiding Seminar Nasional Teknik Infrastruktur dan Lingkungan, Vol 1, Oktober, hal 1-8.
- Tongwei Liu, Guopu Shi, Guozhong Li and Zhi Wang, 2019, Lightweight foamed concrete with foam agent addition, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 490.