

HUBUNGAN BEBAN DAN LENDUTAN PANEL PRACETAK BETON BUSA

M. Tumpu^{1*}, Mansyur², M. W. Tjaronge³

¹ Program Studi S2-Manajemen Bencana, Sekolah Pascasarjana, Univ. Hasanuddin, Makassar, Indonesia

² Staf Pengajar Fakultas Teknik, Univ. Sembilanbelas November, Kolaka, Indonesia

³ Staf Pengajar Fakultas Teknik, Univ. Hasanuddin, Makassar, Indonesia

*Email: tumpumiswar@gmail.com

Abstrak

Konstruksi bangunan merupakan salah satu sektor yang berkembang dengan pesat seiring dengan terus dibutuhkannya bangunan baru. Salah satu penggunaan material yang paling banyak digunakan dalam pembangunan adalah beton. Beton busa dihasilkan dari penambahan cairan busa (foam agent) ke dalam air pada mix desain beton. Foam agent berfungsi untuk menstabilkan gelembung udara selama proses pengerasan beton. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan beban dan lendutan panel pracetak beton busa. Penelitian ini berbentuk eksperimental di laboratorium. Volume busa yang digunakan adalah 15,7, 25,12 dan 37,68 liter. Panel pracetak beton busa yang digunakan berukuran $40 \times 70 \times 8$ cm. Pengujian beban dan lendutan dengan menggunakan alat UTM yang terhubung dengan LVDT diterapkan untuk mengevaluasi kekuatan panel pracetak beton busa. Pengujian beban dan lendutan dilakukan pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat volume yang dihasilkan sebesar $1210,71 \text{ kg/m}^3$. Rata-rata beban yang dihasilkan dari benda uji panel pracetak beton busa untuk masing-masing variasi volume busa yaitu sebesar 64,64 kN, 61,04 kN dan 26,79 kN sedangkan lendutan yang dihasilkan adalah sebesar 2,65, 4,16 dan 4,22 mm.

Kata kunci: beban, beton busa, lendutan, panel pracetak

Abstract

Construction is a rapidly evolving sector driven by the continual demand for new buildings, with concrete being one of its most commonly used materials. Foam concrete, produced by incorporating foam liquid (foam agent) into water during the concrete mix design, serves as a stabilizing agent for air bubbles during the concrete hardening process. This study focuses on analyzing the relationship between load and deflection of foam concrete precast panels. Conducted as experimental research in the laboratory, the study utilized foam volumes of 15.7, 25.12, and 37.68 liters, with foam concrete precast panels measuring $40 \times 70 \times 8$ cm. Load and deflection testing, performed using a UTM device connected to an LVDT, aimed to assess the strength of these panels at 28 days of age. Research findings revealed a produced volume weight of 1210.71 kg/m^3 . The average loads generated from the test specimens varied with foam volume: 64.64 kN for 15.7 liters, 61.04 kN for 25.12 liters, and 26.79 kN for 37.68 liters, respectively. Correspondingly, deflections were measured at 2.65 mm, 4.16 mm, and 4.22 mm.

Keywords: load, foam concrete, deflection, precast panels

1. PENDAHULUAN

Perkembangan konstruksi dan infrastruktur yang sangat pesat saat ini membutuhkan sumber daya alam yang terus meningkat. Semen sebagai bahan utama pembuatan beton merupakan salah satu material alam yang banyak dibutuhkan untuk kegiatan konstruksi dan infrastruktur. Namun demikian, semen menjadi kontributor utama emisi gas rumah kaca, karena 6 - 7% dari total gas CO_2 diemisikan ke atmosfer bumi setiap tahunnya. Untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya untuk mengurangi efek buruk terhadap lingkungan tersebut, di antaranya dengan mengganti sumber bahan baku pembuatan semen ataupun membuat alternatif produk turunannya [1, 2].

Dari sisi bahan baku, beberapa pabrik semen sudah menggantikan produksi *Ordinary*

Portland Cement (OPC) dengan *Portland Composite Cement* (PCC) yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Selain untuk mengurangi efek negatif terhadap lingkungan, produksi PCC juga lebih ekonomis sehingga dapat meningkatkan kapasitas produksi semen. Semen merupakan bahan pengikat yang penting untuk pembuatan beton, yang saat ini merupakan bahan konstruksi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia dengan hasil tahunan di 2009, dengan 2,8 Gtons (WBCSD-World Business Council for Sustainable). Untuk produksi semen Portland jenis 1, 2, 3, 4 dan 5, bahan-bahan seperti batu kapur dan tanah liat perlu ditambang, dicampur dengan proporsi tertentu, dihaluskan dan dipanaskan pada suhu tinggi dalam tanur putar. Proses ini membutuhkan energi dan sumber daya yang intensif dan menghasilkan

emisi CO yang cukup besar karena penguraian kalsium karbonat (kapur) menjadi kalsium oksida dan pembakaran bahan bakar fosil selama pemanasan campuran. Per 1 ton emisi bruto CO₂ semen global rata rata diperkirakan sekitar 900 kg, terhitung 5-8% dari total emisi CO₂ atmosfer manusia [3- 5].

Dalam beberapa dekade terakhir, di Indonesia, berdasarkan pada pertimbangan konservasi alam, pengurangan limbah seperti abu terbang, penurunan emisi CO₂ dan faktor-faktor lain yang terkait dengan pembangunan infrastruktur berkelanjutan, telah ada kecenderungan yang kuat ke arah pengembangan penambahan alternatif untuk pembuatan semen campuran ramah lingkungan seperti semen portland komposit (*Portland Composite Cement*). Pada awalnya semen Portland komposit dibuat berdasarkan aturan tahun 2005 (SNI 2005) yang selanjutnya diperbaharui dengan SNI 2012 [6, 7].

Dari sisi produk turunan semen, telah dikembangkan beton berbuisa (*foam concrete*), suatu pasta semen atau mortar yang didefinisikan sebagai sebagai beton ringan dengan density 400–1.850 kg/m³, memiliki rongga udara acak yang dibuat dari campuran *foam agent* di dalam mortar. Foam concrete memiliki *flowability* yang tinggi, penggunaan kadar semen yang rendah, dan penggunaan agregat yang efisien [8, 9]. Pembangunan gedung di seluruh dunia kini semakin memperhatikan penggunaan beton berbuisa. Penghematan energi dan pertimbangan ramah lingkungan menjadi alasan utama penggunaan material ini. Bahan beton berbuisa terdiri dari bahan utama dan bahan tambahan. Bahan utama adalah mortar yang terdiri: semen, agregat, air, yang ditambahkan bahan lain berupa: *foam agent*. Beton berbuisa adalah pasta semen yang rapuh/*porous* atau campuran semen dan pasir halus dengan sel-sel udara mikro atau makroskopik yang seragam didistribusikan secara merata di seluruh campuran untuk menghasilkan beton ringan [10, 11]. Hal ini adalah bahan struktural ekonomis, ramah lingkungan, ringan yang menyediakan isolasi termal yang tahan api dan rayap. Di dunia konstruksi, beton berbuisa banyak juga diaplikasikan untuk material non struktural seperti partisi, kelebihannya yang tahan terhadap insulasi termal mampu menghemat penggunaan energi alat pendingin udara, serta massa jenisnya yang lebih ringan sehingga dapat mengurangi konsumsi agregat dan semen.



Gambar 1. Dinding bata merah



Gambar 2. Dinding panel pracetak beton ringan

Di lain hal, permintaan akan perumahan murah dalam beberapa tahun terakhir telah menyebabkan meningkatnya popularitas perumahan buatan. Keinginan pabrikan untuk menggunakan material secara efisien mensyaratkan bahwa perilaku struktur-struktur ini dapat diteliti dan dikembangkan sepenuhnya sehingga prosedur desain berdasarkan perilaku yang diamati akan memastikan kemudahan pelaksanaan dan perawatan pada unit struktural. Salah satu yang dapat dimanfaatkan adalah panel pracetak berbahan beton busa dengan tujuan untuk menghasilkan dinding yang ringan dan tahan terhadap gempa. Gambar 1 memperlihatkan perbedaan dinding bata merah dengan dinding yang menggunakan panel pracetak beton busa.

Terlihat bahwa dinding yang terbuat dari bata merah tidak tahan terhadap cuaca luar yang ditandai dengan tumbuhnya lumut yang menempel di permukaan pasangan bata merah tersebut sedangkan dinding yang terbuat dari panel pracetak beton ringan tahan terhadap cuaca luar. Di sisi lain, penggunaan material untuk plester bata merah lebih banyak dibandingkan dengan material yang digunakan untuk plester

panel pracetak beton ringan. Oleh karena itu, penggunaan panel pracetak sangat menarik untuk digunakan terutama untuk hunian rumah tinggal sederhana. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan beban dan lendutan panel pracetak beton busa.

2. MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

2.1. Agregat Halus

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian karakteristik fisik agregat halus dilaksanakan di Laboratorium Eco Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Agregat halus yang digunakan adalah pasir silika yang berasal dari Kabupaten Pinrang.

Tabel 1
Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus

No.	Karakteristik Material	Hasil Pemeriksaan	Persyaratan
	Berat Jenis		
1	-Berat Jenis Kering	2,584	1,5-3,3
	-Berat Jenis SSD	2,608	1,5-3,3
	-Berat Jenis Semu	2,649	1,5-3,3
2	Penyerapan air (%)	0,911	Maksimum 2%
3	Kadar Lumpur (%)	0,959	Maksimum 5%
4	Modulus Kehalusan Berat Volume (kg/lit)	1,256	2,3-3,1
5	-Lepas	1,4	1,4-1,9
	-Padat	1,48	1,4-1,9
6	Kadar Air (%)	3,59	2-5
7	Kadar Organik	No.1	<No.3

2.2. Semen Portland Komposit

Tabel 2 memperlihatkan hasil pengujian karakteristik fisik semen PCC. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik fisik semen PCC yang diperlihatkan pada Tabel 2 yang ditampilkan terlihat bahwa semen PCC yang digunakan memenuhi spesifikasi SNI untuk bahan beton yang disyaratkan. Tabel 3 memperlihatkan karakteristik kimia semen PCC (hasil uji XRF- X-ray fluorescence). Komposisi kimia dari semen yang digunakan sebagai bahan pengikat didominasi oleh unsur CaO dan silika (SiO₂) yaitu sebesar 61,79% dan 18,39%. Sedangkan unsur lainnya yaitu MgO, SO₃, Al₂O₃, Fe₂O₃, LOI (*Loss of Ignation*) masing-masing sebesar 0,99%, 1,81%, 5,15%, 3,14% dan 4,61%.

Tabel 2
Karakteristik fisik semen PCC

Karakteristik material	SNI 15-7064-2004 Standar	Hasil I
Kadar air (%)	12 maks	11,5
Kehalusan	280 min	382
Pengembangan, % (maks)	0,80 maks	-
Kuat tekan		
a. 3 hari (kg/cm ²)	125 min	185
b. 7 hari (kg/cm ²)	200 min	263
c. 28 hari (kg/cm ²)	250 min	410
Waktu pengerasan (Vicat tes)		
a. Pengerasan awal, menit	45 min	132,5
b. Pengerasan akhir, menit	375 min	198
Waktu ikat palsu	50 min	-
Suhu hidrasi 7 hari, kal/gr		65
Konsistensi normal (%)		25,15
Berat jenis		3,13

Tabel 3
Karakteristik kimia semen (hasil uji XRF)

Senyawa	Kandungan (%)
MgO	0,99
SO ₃	1,81
SiO ₂	18,39
Al ₂ O ₃	5,15
Fe ₂ O ₃	3,14
CaO	61,79
LOI	4,61

2.3 Mix Design Campuran Beton Busa

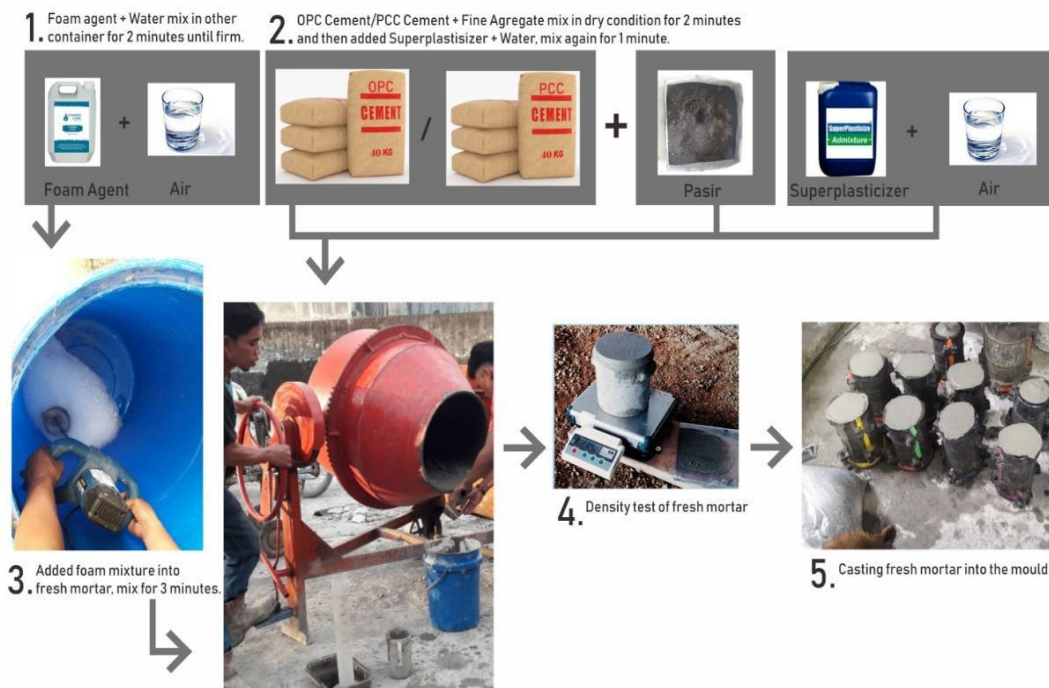
Tabel 4 memperlihatkan rancangan campuran (*mix design*) beton busa dengan volume busa yaitu 15,7, 25,12 dan 37,68 liter. Gambar 3 memperlihatkan proses pengecoran beton ringan yang dirangkum berdasarkan hasil uji coba campuran awal, dimana tidak mengalami proses segregasi dan campuran beton ringan homogen.

Tabel 4
Rancangan campuran beton busa (1 m³)

Material	Jenis	Berat Jenis	Campuran		
			I	II	III
Air	Tanah	1		232 kg	
Pasir	Sunga i	2,48		1325 kg	
Semen	PCC	3,02		662,5 kg	
<i>Admixture</i> (Sikament LN)	Tipe F	1,22		16,6 kg	
Total				2236,1 kg	

Tabel 4 lanjutan

Material	Jenis	Berat Jenis	Campuran		
			I	II	III
LWC Density			160	147	131
			2	0	8
			kg/ m ³	kg/ m ³	kg/ m ³
Mortar Portion			67,	51,	44,
			47	13	59
			%	%	%
Foam Portion			32,	48,	55,
			53	87	41
			%	%	%
Perbandingan Foam Agent/Air			3 : 10		



Gambar 3. Proses pengecoran beton busa

Adapun langkah-langkah pencampuran beton busa adalah :

1. Mula-mula dilakukan pembuatan campuran larutan busa dengan cara melarutkan *foam agent* ke dalam wadah berisi air dengan perbandingan *foam agent* terhadap air sebesar 3 : 10.
2. Larutan tersebut diaduk menggunakan *propeller*, selama 2 menit hingga membentuk busa. Pembuatan busa dilakukan secara terpisah pada wadah yang berbeda di luar mesin mixer.
3. Lalu dilakukan pembuatan mortar berdasarkan dengan tipe pengecoran, pasir dan semen diaduk menggunakan mixer dalam kondisi kering selama 2 menit.
4. Tambahkan *admixture* yang telah dilarutkan didalam air dan diaduk kembali selama 1 menit.

5. Lakukan pengujian slump untuk memastikan bahwa campuran telah mencapai slump yang diinginkan.
6. Jika telah mencapai slump rencana, campuran larutan berbusa ditambahkan ke dalam mortar di dalam mixer.
7. Kemudian dilakukan pengadukan kembali selama 3 menit hingga menjadi campuran *foam concrete*.
8. Setelah itu dilakukan pengecekan *density foam concrete* dalam keadaan segar, dengan cara mengambil sejumlah campuran pada gelas ukur (1000 ml) kemudian di timbang.
9. Selanjutnya menuangkan *foam concrete* kedalam cetakan silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm.

2.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental di laboratorium. Volume busa yang digunakan adalah 15,7, 25,12 dan 37,68 liter dengan panel pracetak beton busa berukuran $40 \times 70 \times 8$ cm. Pengujian beban dan lendutan dilakukan pada umur panel pracetak beton busa yaitu 28 hari. Pengujian menggunakan alat UTM sebagai instrumen untuk mengukur beban dan LVDT sebagai instrumen untuk mengukur lendutan yang terjadi pada panel pracetak beton busa.

2.5 Pengujian Beban dan Lendutan

Satu hal yang penting dari struktur beton bertulang adalah masalah lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja. Struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan yang mungkin memperlemah kekuatan maupun kemampuan layan struktur pada beban kerja. Berkaitan dengan hal tersebut, bila bentang panjang maka lendutan akan besar. Untuk memperkecil lendutan biasanya dengan memperbesar kekakuan penampang (EI).

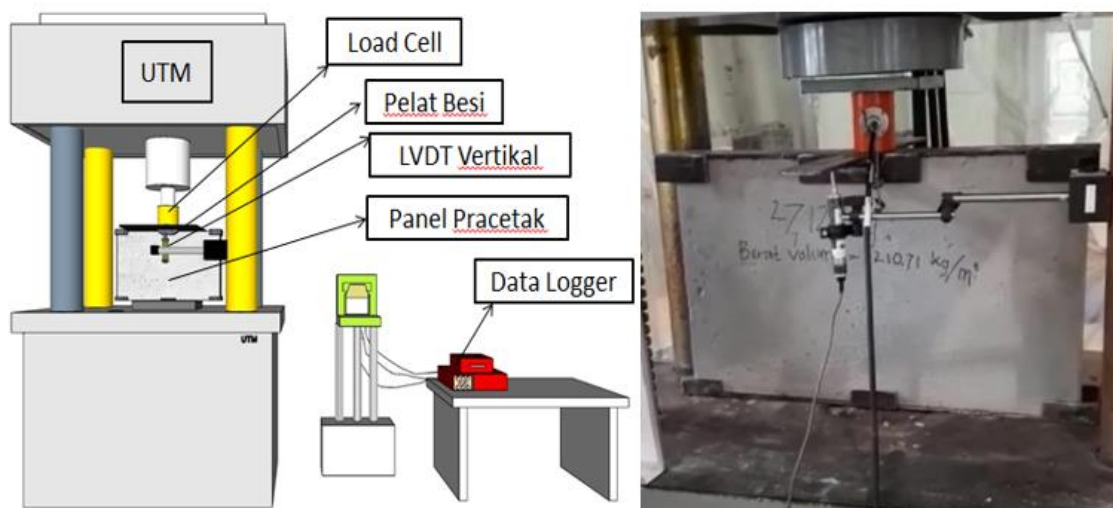
Secara mekanika hubungan lendutan (v), kekakuan penampang (EI) dan momen lentur (M) adalah:

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (1)$$

Dengan persamaan differensial, persamaan diatas dapat dicari nilai lendutan di tengah bentang. Lendutan untuk balok yang ditumpu oleh tumpuan sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang adalah:

$$\delta = v_{max} = \frac{PL^3}{48 \times EI} \quad (2)$$

Gambar 4 memperlihatkan sketsa pengujian beban dan lendutan. Pada pengujian beban dan lendutan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) yang dihubungkan dengan data logger untuk mengukur besarnya beban yang terjadi dan LVDT (*Linear Variable Displacement Transducers*) yang dipasang secara vertikal sebanyak 2 buah untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi. Semua instrumen pengujian terhubung pada data logger dengan hasil data yang dihasilkan secara komputerisasi.



Gambar 4. Pengujian beban dan lendutan panel pracetak beton busa

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Slump Flow Beton Busa

Gambar 4 memperlihatkan hasil pengukuran slump flow beton busa dimana slump flow yang dihasilkan sesuai dengan slump rencana yaitu 22 ± 2 cm.

3.2. Kuat Tekan Benda Uji Silinder

Tabel 5 memperlihatkan nilai kuat tekan beton busa silinder ukuran $10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$.

Terlihat nilai kuat tekan yang dihasilkan pada umur 3, 7 dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 4,34 MPa, 6,09 MPa dan 7,95 MPa. Nilai kuat tekan beton busa dipengaruhi oleh berat volume. Hasil menunjukkan bahwa seluruh benda uji merupakan beton busa sesuai dengan SNI 03:2847:2013 yaitu berat volume untuk beton ringan $1140 - 1840 \text{ kg/m}^3$, dimana berat volume beton busa yang dihasilkan yaitu rata-rata 1210 kg/m^3 . Penggunaan busa sangat berpengaruh pada berat volume beton busa.

Dimana semakin banyak volume busa yang masuk maka semakin ringan beton busa tersebut dan kuat tekan semakin menurun.



Gambar 4. Slump flow

Tabel 5 Nilai kuat tekan beton busa silinder

Durasi curing (Hari)	Kuat tekan benda uji (MPa)			Rata-rata kuat tekan benda uji (MPa)
	I	II	III	
3	4,6 3	4,1 3	4,2 7	4,34
7	5,8 1	6,1 6	6,3 0	6,09
28	7,9 6	8,1 1	7,7 7	7,95

Berdasarkan SNI 03-0349-1989, ditemukan bahwa hasil kuat beton busa yang diperoleh dapat digunakan sebagai bata beton untuk pemasangan dinding. Terlihat nilai kuat tekan semakin meningkat seiring dengan peningkatan umur beton busa. Pada Tabel 5, persyaratan kuat tekan rata-rata untuk bata beton mutu I yaitu 9,8 MPa, persyaratan kuat tekan rata-rata untuk bata beton mutu II dan juga batas minimum kuat tekan beton struktural ringan yaitu 6,9 MPa, persyaratan kuat tekan rata-rata untuk bata beton mutu III yaitu 3,9 MPa dan persyaratan kuat tekan rata-rata untuk bata beton mutu IV yaitu 2,5 MPa. Untuk beton busa campuran I dan campuran II dapat dikategorikan sebagai beton mutu II. Sedangkan untuk campuran III dikategorikan beton mutu III.

Pada semua campuran terlihat jelas bahwa dengan bertambahnya umur benda uji maka tegangan puncak meningkat, hal ini sama dengan perilaku beton berbahan dasar semen Portland. Kuat tekan beton busa terus meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton tersebut. Peningkatan kuat tekan terjadi diakibatkan proses stabilisasi gelembung-gelembung yang sudah terbentuk akibat reaksi semen portland komposit saat pencampuran busa kedalam beton kemudian dilanjutkan dengan proses hidrasi berlangsung

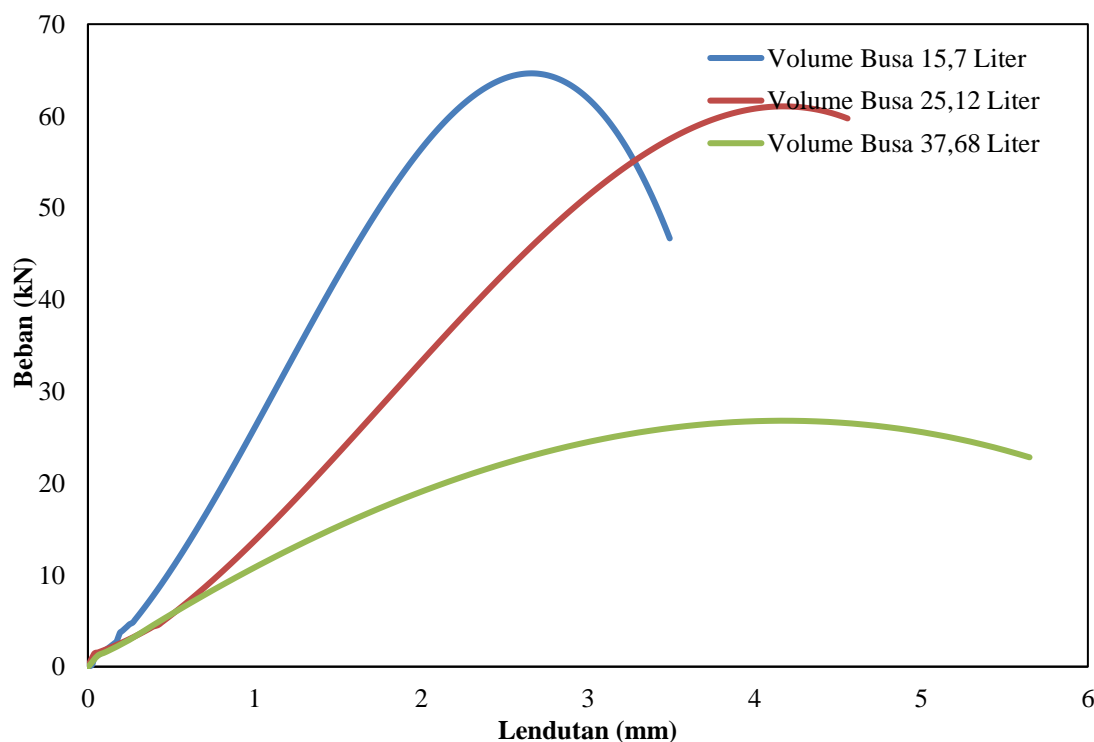
hingga umur 28 hari. Penambahan busa dalam campuran beton busa dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton busa.

3.3 Hubungan Beban dan Lentutan Panel Pracetak Beton Busa

Pengujian beban dan lentutan panel pracetak beton busa dilakukan pada umur 28 hari sebanyak 3 buah benda uji. Berat volume panel pracetak yaitu berkisar antara 1210 – 1217,1 kg/m³. Gambar 5 memperlihatkan hubungan beban dan lentutan panel pracetak beton busa dengan volume busa 15,7, 25,12 dan 37,68 liter.

Terlihat pada Gambar 6 bahwa beban dan lentutan yang dihasilkan oleh panel pracetak beton busa pada campuran I (volume busa 15,7 liter) adalah sebesar 64,64 kN dan 2,65 mm. Pada campuran II (volume busa 25,12 liter) beban dan lentutan yang dihasilkan adalah sebesar 61,04 kN dan 4,16 mm sedangkan pada campuran III (volume busa 37,68 liter) beban dan lentutan yang dihasilkan adalah sebesar 26,79 kN dan 4,22 mm. Pada semua campuran terlihat jelas bahwa dengan bertambahnya umur benda uji maka beban puncak meningkat, hal ini sama dengan perilaku beton berbahan dasar semen Portland. Beban yang dapat diterima oleh beton busa terus meningkat seiring dengan bertambahnya umur beton tersebut. Peningkatan nilai beban yang terjadi diakibatkan proses stabilisasi gelembung-gelembung yang sudah terbentuk akibat reaksi semen portland komposit saat pencampuran busa ke dalam beton kemudian dilanjutkan dengan proses hidrasi berlangsung hingga umur 28 hari. Peningkatan nilai beban yang dihasilkan dari campuran III dan campuran II ke campuran I adalah masing-masing sebesar 58,55% dan 5,56%.

Penambahan busa dalam campuran beton busa dapat mempengaruhi nilai beban yang dapat diterima oleh panel pracetak beton busa. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hasil bahwa penambahan *foam agent* ke dalam campuran beton busa memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai beban yang dapat diterima oleh panel pracetak beton busa. Berdasarkan nilai beban yang dihasilkan dapat diketahui bahwa nilai beban yang dapat diterima oleh panel pracetak beton busa semakin menurun dengan semakin banyaknya volume busa yang digunakan. Adanya nilai lentutan yang kontras dengan perbedaan yang signifikan terjadi pada campuran I, II dan III beton busa diakibatkan oleh kehadiran gas, seringkali sifat fisis ini digunakan untuk mendeterminasi zona akumulasi gas.



Gambar 6. Hubungan beban dan lendutan panel pracetak beton busa

4. KESIMPULAN

1. Semen PCC, Superplasticizer dan pasir memiliki pengikatan yang baik sehingga dapat bercampur menjadi mortar yang kemudian bersama-sama dengan busa membentuk beton busa yang ditunjukkan dengan pematangan yang baik. Peningkatan kuat tekan dan kuat tarik belah beton busa dari umur 3 hingga 28 hari menunjukkan bahwa pada proses pengikatan, pengerasan beton dapat berjalan dengan baik akibat kompatibilitas yang baik dari semua material yang digunakan.
2. Semakin banyak volume busa yang digunakan maka semakin ringan beton busa yang dihasilkan dan semakin rendah kuat tekan beton busa. Beton busa dengan 15,7 liter volume busa dan 25,15 liter volume busa dapat digunakan sebagai bata beton untuk pasangan dinding kelas II untuk tingkat mutu bata beton pejal sebesar 70 kg/cm² dan kelas II untuk mutu bata beton berlobang sebesar 50 kg/cm². Sedangkan, beton busa dengan 37,68 liter volume busa dapat digunakan sebagai bata beton untuk pasangan dinding kelas III untuk tingkat mutu bata beton pejal sebesar 40 kg/cm² dan kelas III untuk mutu bata beton berlobang sebesar 35 kg/cm² berdasarkan SNI 03-0349-1989.

DAFTAR PUSTAKA

- Jan Deja, Alicja Uliasz-Bochenczyk and Eugeniusz Mokrzycki. 2010. CO₂ Emissions From Polish Cement Industry. International.
- Standard National of Indonesia. Portland Composite Cement. SNI 7064:2014.
- Tjaronge M.W., Irmawaty R., Adisasmita S.A., Amiruddin A., and Hartini, Compressive Strength and Hydration Process of Self Compacting Concrete (SCC) Mixed with Sea Water, Marine Sand and Portland Composite Cement. *Advanced Materials Research* 935, 2014, pp. 242–246.
- Erniati, M. Wihardi Tjaronge, Zulharnaha, and Ulva Ria Irfan, Porosity, pore size and compressive strength of self compacting concrete using sea water, *The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)*, *Procedia Engineering* 125 (2015) 832 – 837.
- M. A. Caronge, M. W. Tjaronge, H. Hamada and R. Irmawaty, Effect of water curing duration on strength behaviour of Portland composite cement (PCC) mortar, 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 271 012018.
- M. A. Caronge, M. W. Tjaronge, R. Irmawaty, B. Bakri and S Hamuddin, Effects of vibration time on compressive strength and corrosion resistance of steel bars in

- concrete, 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 419 012031.
- Marewangeng, M.W.Tjaronge, A. R. Djamaluddin and Sumarni Hamid Aly, Mechanical characteristics of self compacting concrete using laterite stone as coarse aggregate, International Journal of GEOMATE, July, 2020, Vol.19, Issue 71, pp. 250 – 255.
- K. Ramamurthy, E. K. Kunhanan dan Nambiar, G. Indu Siva Ranjani. A classification of studies on properties of foam concrete. Cem. Concr. Compos. 31 (6) (2009) 388–396.
- Sunarno Y., Tjaronge M. W. dan Irmawaty R. 2020. Preliminary study on early compressive strength of foam concrete using Ordinary Portland Cement (OPC) and Portland Composite Cement (PCC). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 419.
- ACI 523.4R-09. 2009. Guide for Design and Construction with Autoclaved Aerated Concrete Panels. Farmington Hills, U.S.A.
- SNI 2847-2019. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standardisasi Nasional.