

ANALISIS KEKUATAN PELAT BETON *PRECAST* DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI BETON RINGAN DENGAN *FOAM AGENT* 3% DAN BETON NORMAL

Abdul Rochman^{1*}, Yenny Nurhasanah¹, Muhammad Ujjianto¹, Athoilah Shohibul Fikri¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Jawa Tengah

*Email: ar126@ums.ac.id

Abstrak

Seperti diketahui, beban gempa yang bekerja pada struktur berbanding lurus dengan berat struktur. Untuk itu, pada beberapa dasawarsa terakhir, dikembangkan penggunaan elemen struktur dengan berat sendiri lebih ringan, seperti penggunaan beton ringan pada sistem pelat lantai. Didasari pemikiran tersebut, penelitian ini dilakukan dengan membuat pelat lantai kombinasi beton normal dengan beton ringan. Beton ringan dibuat dengan mencampurkan *foam agent* pada beton dengan prosentase 3 %. Benda uji berupa pelat dengan ukuran 125 x 40 x 10 cm sebanyak 6 dengan rincian; (i) 3 benda uji PBFA dari *full* beton ringan, (ii) 3 benda uji PBNFA berupa kombinasi beton ringan dengan beton normal. Beton normal direncanakan memiliki mutu rencana 25 MPa pada umur 28 hari. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian lentur. Hasil penelitian menunjukkan kuat-tekan beton normal diperoleh sebesar 25,408 MPa, dan beton ringan sebesar 12,534 MPa. Kekakuan pelat beton PBFA sebesar 221,9 N/mm dan PBNFA sebesar 340,4 N/mm. Kuat lentur pelat beton PBFA sebesar 0,935 kNm dan PBNFA sebesar 1.390 kNm. Dengan kuat lentur tersebut, diperoleh beban hidup maksimum yang mampu ditahan pelat beton PBFA sebesar 1,298 kN/m² dan PBNFA sebesar 2,439 kN/m². Hasil ini menunjukkan, pelat lantai ini cocok digunakan pada lantai gedung dengan beban hidup minimum 2,40 kN/m².

Kata kunci: beton ringan, foam agent, kuat-tekan, kekakuan, kuat-lentur pelat

Abstract

As is known, the earthquake load acting on a structure is directly proportional to the weight of the structure. For this reason, in the last few decades, the use of structural elements with lighter self-weight has been developed, such as the use of lightweight concrete in floor slab systems. Based on this idea, this study was conducted by creating a floor slab that combines normal concrete with lightweight concrete. Lightweight concrete is made by mixing a foam agent with concrete with a percentage of 3%. The test specimens were in the form of plates measuring 125 x 40 x 10 cm as many as 6 with details; (i) 3 PBFA test specimens from full lightweight concrete, (ii) 3 PBNFA test specimens in the form of a combination of lightweight concrete with normal concrete. Normal concrete is planned to have a design quality of 25 MPa at the age of 28 days. The test carried out was a flexural test. The results showed that the compressive strength of normal concrete was obtained at 25.408 MPa, and lightweight concrete was 12.534 MPa. The stiffness of the PBFA concrete slab was 221.9 N/mm and PBNFA was 340.4 N/mm. The flexural strength of the PBFA concrete slab is 0.935 kNm and that of the PBNFA is 1,390 kNm. With these flexural strengths, the maximum live load that the PFA concrete slab can withstand is 1,298 kN/m² and that of the PBNFA is 2,439 kN/m². These results indicate that this floor slab is suitable for use on building floors with a minimum live load of 2.40 kN/m².

Keywords: *lightweight concrete, foam agent, compressive strength, stiffness, flexural strength*

1. PENDAHULUAN

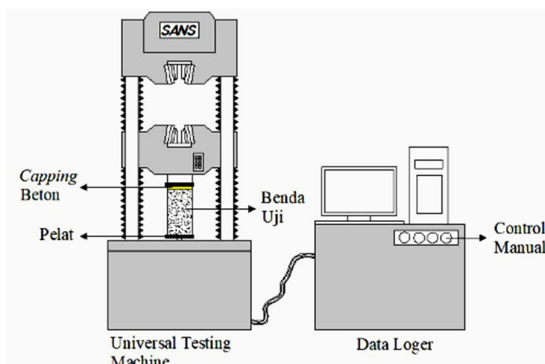
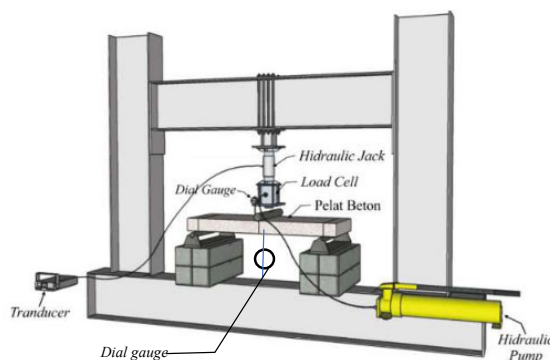
Beban gempa merupakan beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi dan dapat mempengaruhi struktur tersebut. Untuk memperkecil beban gempa yang terjadi dapat dilakukan dengan memperkecil berat struktur salah satunya dengan menggunakan beton ringan. Beton ringan tersebut dapat dibuat dengan menambahkan *foam agent*. Penggunaan *foam agent* sebagai bahan tambah ini bertujuan untuk pembentukan rongga pada beton normal saat dicampurkan, sehingga volume beton dapat mengembang dan berat jenisnya menjadi ringan. Beberapa masalah lain yang sering muncul pada pekerjaan konstruksi yaitu waktu yang diperlukan untuk membangun bangunan salah satunya pada proses pembuatan plat lantai. Proses pembuatan pelat lantai sistem konvensional membutuhkan waktu yang lama dan tenaga kerja yang banyak, yang menyebabkan biaya konstruksi menjadi mahal. Oleh karena itu, sistem plat lantai secara *precast* bisa menjadi salah satu solusi yang dapat menekan biaya yang dikeluarkan karena waktu dan tenaga kerja menjadi lebih sedikit. Hal inilah yang mendasari dilakukannya penelitian ini.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat pelat beton *precast* dengan menggunakan beton ringan dari kombinasi *foam agent* dan untuk memberikan kekuatan tarik pada pelat beton *precast* maka diberi tulangan berupa *wiremesh*. Penelitian ini dimaksudkan untuk; (i) mengetahui pengaruh penambahan *foam agent* sebesar 3% terhadap kuat tekan dan kuat tarik lentur beton ringan, (ii) mengetahui pengaruh penambahan *foam agent* sebesar 3% terhadap kekakuan benda uji pelat beton, dan (iii) mengetahui pengaruh penambahan *foam agent* sebesar 3% terhadap beban hidup dukung benda uji pelat beton. Penelitian ini diharapkan dapat menciptakan inovasi baru khususnya pada pelat *precast* beton ringan, dan dapat memberikan pengetahuan baru kepada masyarakat umum mengenai inovasi pembuatan beton *precast* ringan dapat menjadi solusi alternatif yang efektif dan efisien.

Seperti diketahui, *foam agent* merupakan suatu bahan tambah yang digunakan sebagai pembentuk beton ringan dengan mencampurkannya pada adukan beton. *Foam agent* ialah suatu larutan pekat dari bahan *sulfaktan*, di mana jika hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen, akan terjadi banyak pori-pori udara di dalam beton (Malau, 2014). Penelitian tentang penggunaan *foam agent* dalam pembuatan beton telah banyak dilakukan, di antaranya oleh Hidayati et al., (2022) yang meneliti tentang pengaruh penambahan *foam agent* terhadap kuat tekan dan berat isi beton normal. Hasil penelitian ini menunjukkan, bahwa penambahan 1% *foam agent* menurunkan nilai kuat-tekan, juga memperkecil berat isi beton ringan menjadi kurang dari 1850 kg/m³. Tisnawan et al. (2023) meneliti tentang perbandingan penambahan *foam agent nabati* dengan *foam agent kimia* terhadap kuat-tekan beton. Hasil penelitian menunjukkan, bahwa *foam agent nabati* memberikan kinerja lebih baik dibanding *foam agent kimia*.

Beton *precast* merupakan konstruksi yang komponen pembentuknya dicetak atau difabrikasi dan diolah di lahan produksi pabrik atau bengkel. Produksi di pabrik memastikan kontrol kualitas yang lebih baik, sehingga hasil akhir memiliki kekuatan dan daya tahan yang konsisten. Serta mengurangi risiko kesalahan atau ketidaksesuaian yang mungkin terjadi saat pengecoran di lokasi. Beton *pracetak* memungkinkan waktu konstruksi yang lebih singkat karena elemen-elemen dapat diproduksi bersamaan dengan pekerjaan persiapan di lokasi. Hal ini sangat berguna pada proyek yang membutuhkan penyelesaian cepat atau di lokasi dengan akses terbatas. Penelitian tentang penggunaan sistem beton *precast* telah banyak dilakukan, di antaranya oleh Adiasa et al., (2015) meneliti tentang pengaruh penggunaan beton *precast* pada proyek konstruksi. Hasil penelitian menunjukkan, bahwa dengan metode *precast* biaya pekerjaan menjadi lebih ekonomis, yaitu dapat mengurangi biaya perencanaan sebesar 3,05% - 37,57% dibandingkan dengan metode konvensional. Selanjutnya, Rochman et al. (2021) meneliti tentang kuat lentur pelat beton *precast* tanpa *grouting* dengan tulangan konvensional. Hasil penelitian menunjukkan, bahwa kapasitas momen lentur pelat beton *precast* sebesar 7916000 N.mm, nilai ini sudah lumayan dekat dengan kapasitas momen lentur pelat beton utuh *non precast* yaitu sebesar sebesar 11582000 N.mm. Vrcilia et al. (2020) melakukan penelitian serupa dengan menambahkan tulangan *wiremesh* 4 mm pada pelat beton.

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, meliputi; (1) uji kuat-tekan beton terhadap benda uji silinder diameter 150 mm tinggi 300 mm, dan (2) uji kuat lentur benda uji pelat beton. *Set-up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.

(a) *Set-up* pengujian benda uji silinder(b) *Set-up* pengujian kuat-lentur pelat betonGambar 1. *Set-up* pengujian benda uji silinder dan pelat beton

Dari pengujian tekan benda uji silinder, nilai kuat-tekan beton yang dihitung dengan persamaan berikut (SNI 1974:2011),

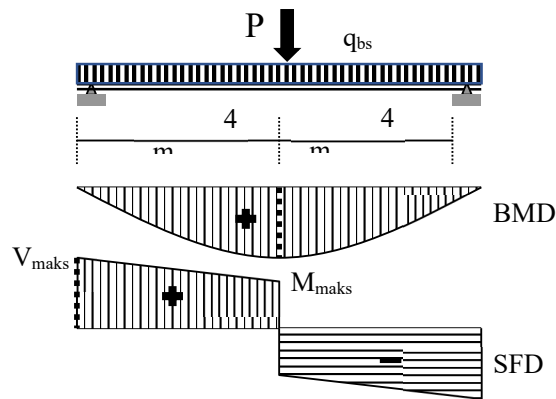
$$f'_c = \frac{P_{\max}}{0,25\pi D^2}$$

Dengan

f'_c = kuat tekan beton, (MPa)

P_{\max} = beban maksimum, (N)

D = diameter penampang benda uji, (mm²)



Gambar 2. Diagram SFD dan BMD pengujian lentur benda uji pelat beton

Dari analisis mekanika, momen lentur nominal eksperimental dari pengujian, dapat dihitung dengan persamaan,

$$M_{n-eksp} = \frac{1}{4}.PL + \frac{1}{8}.qL^2 \quad (2)$$

Momen lentur nominal teoritis, dihitung dengan persamaan berikut,

$$M_{n-teoritis} = A_s.F_y(d - \frac{1}{2}.a) \quad (3)$$

$$\text{Dimana } a = \frac{A_s F_y}{0,85f'_c b} \quad (4)$$

Kekakuan pelat beton, (K) secara eksperimental dihitung dengan persamaan berikut,

$$K = \frac{P_{prop}}{\delta_{prop}} \quad (5)$$

Sedang lendutan teoritis dihitung dengan persamaan,

$$\delta_{teoritis} = \frac{5q_{bs}L^4}{384E_c I} + \frac{PL^3}{48E_c I} \quad (6)$$

Dengan

M_{n-eksp} = momen nominal eksperimental, (Nmm)

$M_{n-teoritis}$ = momen nominal teoritis, (Nmm)

P = beban maksimum, (N)

q_{bs} = berat sendiri pelat beton, (N/mm)

F_y = tegangan leleh *wiremesh*, (MPa)

f'_c = kuat-tekan beton, (MPa)

F_y = tegangan leleh *wiremesh*, (MPa)

E_c = modulus elastis beton, (MPa)

L = bentang benda uji, (mm)

I = momen inersia penampang pelat = $(1/12).b.t^3$, (mm⁴)

d = jarak titik antara titik berat *wiremesh* tarik ke sisi atas pelat (mm)

a = tinggi blok tekan beton (mm)

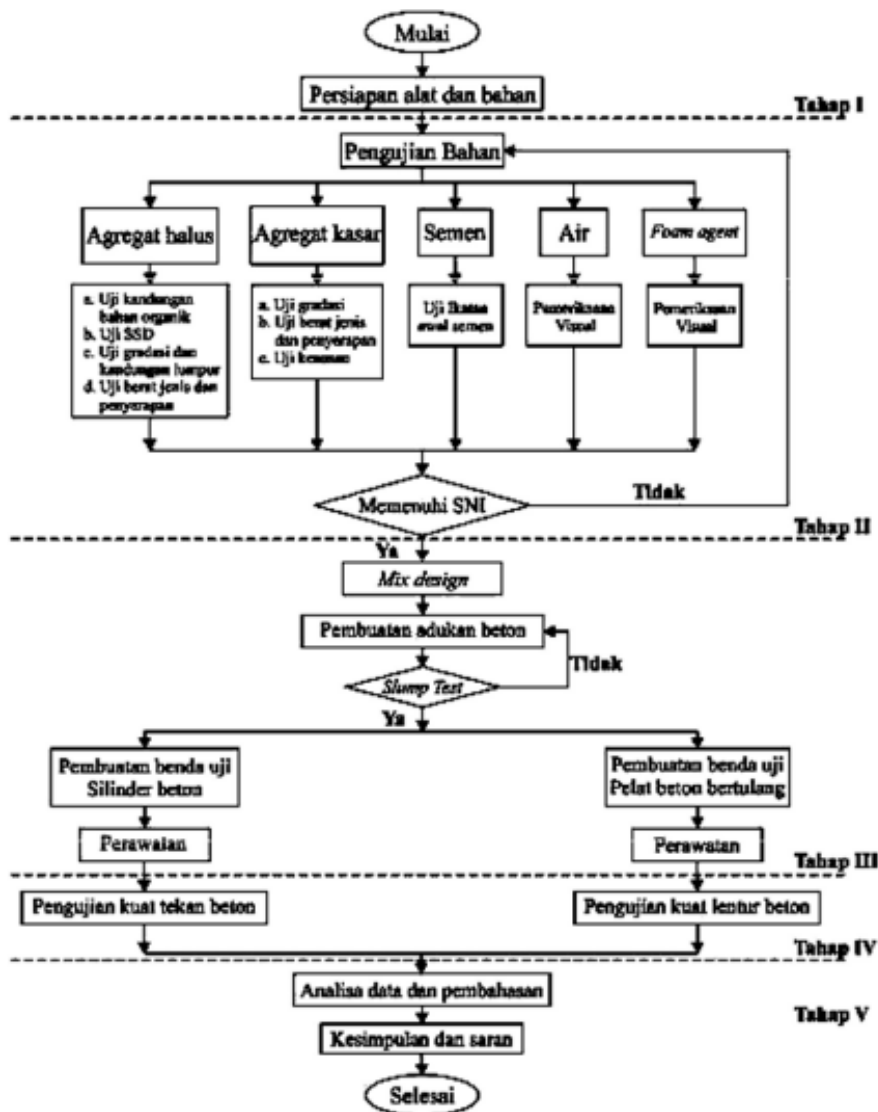
b = lebar pelat beton, (mm)

t = tebal pelat beton, (mm)

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Bahan yang digunakan meliputi; (i) Semen *Portland* jenis PCC merk Gresik, (ii) Agregat halus dari muara gunung merapi, (iii) Agregat halus maksimum ukuran 10 mm dari gunung merapi, (iv) Air dari sumur Laboratorium Struktur, (v) *Foam agent*, dari jenis protein hewani dengan merk dagang AKS yang diperoleh dari CV. Additive Teknik Beton.

Peralatan utama yang digunakan diantaranya; (i) Satu set saringan, untuk uji gradasi agregat, (ii) Kerucut *Conus* dan tongkat baja Ø16 mm untuk pengujian *Saturated Surface Dry* (SSD) agregat halus, (iii) Mesin Los Angeles, untuk pengujian keausan agregat kasar, (iv) Bekisting, digunakan 2 jenis cetakan, yaitu cetakan berbentuk silinder memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan cetakan dari kayu ukuran panjang 125 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 10 cm, (v) *Mixer* beton atau *molen*, untuk membuat campuran beton segar, (vi) *Universal Testing Machine* (UTM) untuk pengujian kuat-tekan beton, (vii) *Loading Frame* beserta kelengkapannya seperti *hydraulic jack*, *load cell* dan *transducer*, digunakan untuk pengujian lentur benda uji pelat beton. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan alir pelaksanaan penelitian

Penelitian ini diawali dengan pengujian material penyusun beton yang akan digunakan penelitian. Pada agregat halus dilakukan pengujian kandungan bahan organik, pengujian kandungan lumpur, pengujian berat jenis, pengujian saringan, dan pengujian SSD. Pada agregat kasar dilakukan pengujian kandungan lumpur,

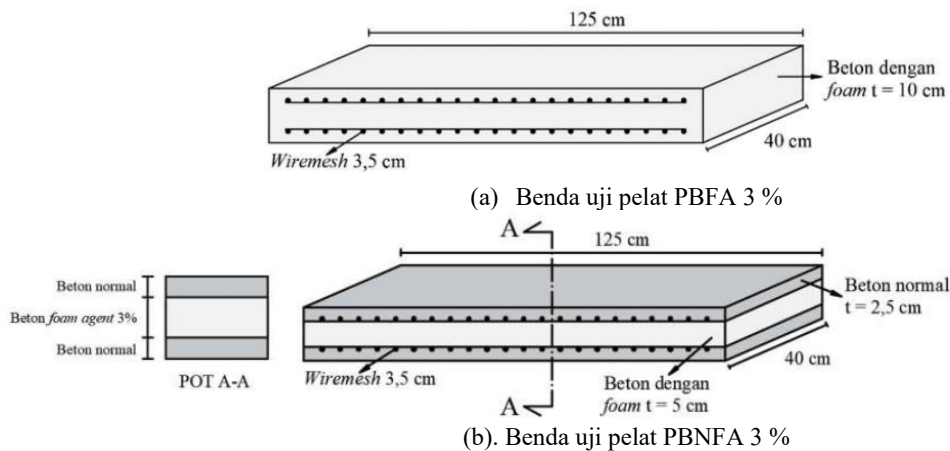
pengujian berat jenis, pengujian keausan, pengujian analisis saringan dan pengujian SSD. Pada Semen Portland dilakukan pengujian ikatan awal semen dan modulus kehalusan. Sedang pada air dan *foam agent* dilakukan pengujian secara visual. Untuk pengujian kuat-tekan beton, dibuat benda uji silinder ukuran diameter 150 mm tinggi 300 mm sebanyak 6 benda uji dengan rincian; 3 benda uji beton normal, dan 3 benda uji beton dengan foam agent 3 %. Sedang untuk pengujian lentur pelat beton dibuat pelat uji sebanyak 6 benda uji dengan rincian; 3 pelat uji dari beton dengan foam agent 3 %, dan 3 pelat uji dari kombinasi beton normal dan beton dengan foam agent 3 % (lihat Gambar 4). Untuk lebih jelasnya, jumlah dan rincian benda uji dapat dilihat pada Tabel 1. Photo dokumentasi pengujian kuat-tekan beton dan pengujian kuat lentur pelat beton dapat dilihat pada Gambar 5

Tabel 1. Jumlah dan rincian benda uji

Jenis pengujian	Jenis beton	Kode benda uji	Ukuran banda uji	Jumlah
Kuat-tekan beton	Beton normal	KBN	Silinder D = 150 mm, H = 300 mm	3
	Beton dengan <i>foam agent</i> 3 %	KBFA 3 %	Silinder D = 150 mm, H = 300 mm	3
Kuat lentur pelat	Beton normal	PBFA 3%	Pelat ukuran 1250 x 400 x 100 mm	3
	Beton dengan <i>foam agent</i> 3 %	PBNFA 3 %	Pelat ukuran 1250 x 400 x 100 mm	3
Jumlah keseluruhan benda uji				12

Keterangan:

- KBN = Kuat-tekan Beton Normal
- KBFA = Kuat-tekan Beton dengan *Foam Agent* 3 %
- PBFA = Pelat Beton dengan *Foam Agent* 3%
- PBNFA = Pelat Beton Normal dan dengan *Foam Agent* 3%



Gambar 4. Benda uji pelat beton



Gambar 5. Photo dokumentasi pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian bahan penyusun beton

Pengujian agregat halus meliputi; uji kandungan organik, uji SSD, uji berat jenis, uji penyerapan air, uji kandungan lumpur, dan uji analisis saringan. Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 2. Sedang rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus

No	Pengujian	Spesifikasi	Persyaratan	Hasil	Kesimpulan
1	Kandungan zat organik	SNI 2816:2014	≤ No.3	No.3	Memenuhi
2	Kandungan lumpur	SNI ASTM C117:2012	< 5%	4,63 %	Memenuhi
3	Penyerapan air	SNI 03-1970-2008	< 5%	2,67 %	Memenuhi
4	SSD	SNI 1970:2008	Runtuh sedikit	Runtuh sedikit	Memenuhi
5	Berat jenis	SNI 03-1970-2008	2,50 – 2,70	2,54	Memenuhi
6	Analisa saringan	SNI C136:2012	Zona I-IV	Zona II	Memenuhi

Tabel 3. Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar

No	Pengujian	Spesifikasi	Persyaratan	Hasil	Kesimpulan
1	Keausan	SNI 2417:2008	≤ 40 %	28,24 %	Memenuhi
2	Berat jenis	SNI 1969:2008	2,50 – 2,70	2,61	Memenuhi
3	Penyerapan air	SNI 1969:2008	< 3 %	2,84 %	Memenuhi
4	Analisa saringan	SNI ASTM C136:2012	20 -40 mm	20 mm	Memenuhi

Dari Tabel 2 dan Tabel 3 terlihat, terlihat bahwa kualitas agregat halus dan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan. Dengan demikian dapat diteruskan ke tahap penelitian berikutnya, yaitu perencanaan campuran (*mix design*).

3.2. Perencanaan campuran beton

Pada penelitian ini, perencanaan campuran beton menggunakan metode SK SNI T-15-1990-03. Beton normal direncanakan memiliki kekuatan rencana, $f'_c = 25$ MPa. Hasil perencanaan campuran beton per- m^3 adukan beton dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan bahan penyusun beton per- m^3 campuran beton

Jenis beton	Air (liter)	Semen (kg)	Agregat halus (kg)	Agregat kasar (kg)	Foam agent (kg)
Beton normal	205	410	705,2	1014,8	-
Beton ringan 3 % FA	205	410	705,2	1014,8	12,3

3.3. Pengujian utama

3.3.1. Pengujian berat isi beton

Pengujian berat isi beton dilakukan pada benda uji silinder yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. pengujian ini dilakukan pada umur beton 28 hari dan dilakukan sebelum melakukan pengujian kuat tekan pada benda uji silinder dengan cara menimbang benda uji kemudian dicatat dan dianalisis hasil dari berat beton tersebut. Hasil pengujian berat isi beton dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji berat isi beton (umur 28 hari)

Jenis beton	Volume (m^3)	Berat benda uji, (kg)				Berat isi beton, (kg/m^3)
		Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 3	Rata-rata	
Beton normal	0,0053	12,565	12,625	12,730	12,640	2384,3
Beton ringan 3 % FA	0,0053	8,270	8,745	8,770	8,595	1621,3

Dari pengujian berat isi beton, didapatkan hasil pengujian berat isi beton pada benda uji silinder normal BN sebesar 2384,3 kg/m^3 lebih tinggi dari pada benda uji BSF 3% sebesar 1621,3 kg/m^3 . Penambahan *foam agent* sebagai bahan substitusi semen dapat membuat berat isi beton menjadi lebih rendah dari pada tanpa penambahan *foam agent*. Dengan penambahan *foam agent* 3% pada penelitian ini sudah memenuhi kriteria pada beton ringan yaitu tidak boleh lebih dari 1850 kg/m^3 (SNI 03- 3449-2002).

3.3.2. Pengujian kuat-tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji tersebut diuji setelah mencapai usia 28 hari. Target kuat tekan yang direncanakan pada beton normal adalah 25 MPa. Proses pengujian ini menggunakan alat *Universal Testing Machine (UTM)*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat-tekan beton benda uji silinder

Jenis beton	Umur beton (hari)	Kuat-tekan, (MPa)			Rata-rata, (MPa)
		Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 3	
KBN	28	26,031	25,012	25,182	25,408
KBFA 3%	28	12,280	12,874	12,449	12,534

Dari Tabel 6 terlihat, bahwa kuat-tekan rata-rata beton normal diperoleh sebesar 25,408 MPa, nilai ini sesuai dengan kuat-tekan yang direncanakan dalam *mix design* yaitu 25 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pembuatan beton secara keseluruhan, yang dimulai dari pengujian bahan penyusun, hitungan *mix design*, proses pencampuran, dan perawatan berlangsung secara baik. Sedangkan pada benda uji KBFA dengan penambahan *foam agent* 3% memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 12,534 MPa. Menurut SNI 03- 3449-2002) batas minimum kuat tekan beton ringan sebesar 6,89 – 17,24 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tekan pada benda uji KBFA memenuhi persyaratan sebagai beton ringan. Dari pengujian kuat tekan silinder beton ini menunjukkan bahwa penambahan *foam agent* dapat menurunkan nilai kuat tekan pada beton.

3.3.3. Pengujian kuat lentur pelat beton

Pada pengujian ini menggunakan benda uji pelat beton dengan dimensi panjang 125 cm, lebar 40 cm dan tinggi 10 cm. Pengujian ini menggunakan alat uji *loading frame*. Titik tumpu pada benda uji terletak pada jarak 10 cm dari sisi terluar kanan dan kiri benda uji. Pembebanan terletak pada titik pusat pada tengah bentang pelat beton sesuai SNI 4154:2014. Pola runtuh benda uji pelat dapat dilihat pada Gambar 6 sedangkan grafik hubungan antara lendutan dan beban hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7.

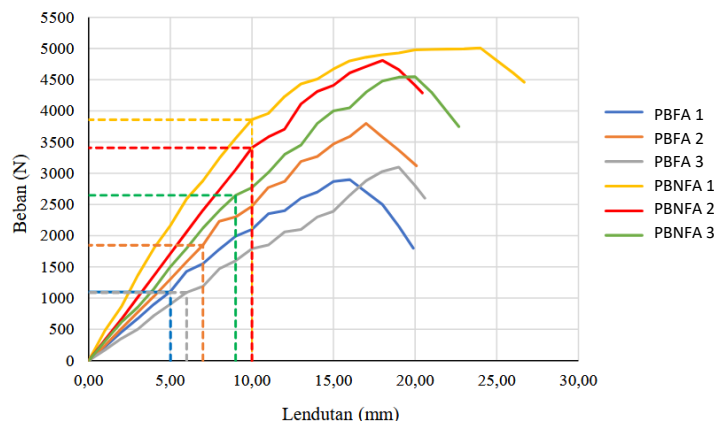


(a). Benda uji pelat PBFA 3%



(b). Benda uji pelat PBNFA 3%

Gambar 6. Pola keruntuhan benda uji pelat beton



Gambar 7. Grafik hubungan beban dan lendutan pengujian benda uji pelat beton

Dari grafik hubungan beban-lendutan benda uji pelat beton Gambar 7, dapat dihitung kekakuan tiap benda uji dengan menggunakan persamaan (5). Hasil perhitungan kekakuan hasil pengujian eksperimental dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Kekakuan benda uji pelat hasil pengujian eksperimental

Benda uji pelat	P_{prop} , (N)	δ_{prop} , (mm)	Kekakuan, K (N/mm)	Kekakuan rata-rata, (N/mm)
PBFA1	1100	5,00	220,000	221,984
PBFA 2	1850	7,00	264,286	
PBFA 3	1090	6,00	181,667	
PBNFA 1	3860	10,00	386,000	340,48
PBNFA 2	3410	10,00	341,000	
PBNFA 3	2650	9,00	294,444	

Dari Tabel 7 terlihat, bahwa benda uji pelat PBFA 3 % kekakuan rata-ratanya sebesar 221,984 N/mm, sedangkan benda uji PBNFA 3% kekakuan rata-ratanya sebesar 340,481 N/mm. Hasil ini menunjukkan benda uji PBNFA 3 % mengalami kenaikan kekakuan sebesar 53,38 % dibanding kekakuan benda uji PBFA 3%. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa dengan mengkombinasikan beton normal dan beton *foam agent* 3% dapat menaikkan nilai kekakuan pada pelat beton secara cukup signifikan.

Selanjutnya, dari grafik pada Gambar 7 dilakukan perhitungan momen nominal teoritis dengan menggunakan persamaan (2) dan persamaan (3), sedangkan momen nominal eksperimental dengan persamaan (4). Hasil perhitungan momen nominal eksperimental dan momen nominal teoritis dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan momen nominal eksperimental dan momen nominal teoritis benda uji pelat beton.

Benda uji pelat	P_{maks} , (N)	M_{n-eksp} , (Nmm)	Rata-rata (Nmm)	$M_{n-teoritis}$, (Nmm)	Rata-rata, (Nmm)
PBFA1	2900	838646	935906	1345406	1345406
PBFA 2	3800	1064973		1345406	
PBFA 3	3100	904100		1345406	
PBNFA 1	5100	1450709	1390344	1365692	1365692
PBNFA 2	4900	1385861		1365692	
PBNFA 3	4700	1334463		1365692	

Dari Tabel 8 terlihat, bahwa secara umum pada seluruh benda uji, nilai momen nominal eksperimental nilainya di bawah nilai momen nominal teoritis. Ditinjau dari momen nominal eksperimental, terlihat benda uji PBFA 3% rata-rata momen nominalnya sebesar 935906 N.mm, sedangkan benda uji PBNFA 3% rata-rata momen nominalnya sebesar 1390344 N.mm, atau menunjukkan peningkatan sebesar 49% dari benda uji PSF 3%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengkombinasikan beton normal dengan beton *foam agent* 3% dapat meningkatkan nilai kuat lentur pada beton.

Dari analisis data pengujian dan lendutan, juga dapat dilakukan perhitungan seberapa beban hidup yang mampu ditahan benda uji pelat beton. Dari hasil analisis yang dilakukan diperoleh, daya dukung beban hidup benda uji pelat PBFA diperoleh nilai sebesar 1,3 kN/m², sedang untuk benda uji pelat PBNFA diperoleh kemampuan beban hidup sebesar 2,4 kN/m². Hasil ini menunjukkan, dengan mengkombinasikan beton normal dengan beton *foam agent* dapat meningkatkan beban hidup yang mampu ditopang oleh pelat beton. Berdasarkan SNI 1727:2020, pelat lantai dengan kombinasi beton normal dan beton *foam agent* merupakan pilihan yang tepat untuk digunakan pada lantai gedung kantor dengan beban hidup minimum sebesar 2,40 kN/m².

4. KESIMPULAN

Dari keseluruhan hasil penelitian yang telah diuraikan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut,

- Pengaruh penambahan *foam agent* 3% pada campuran beton mampu menurunkan berat isi beton, dari 2384,3 kg/m³ turun menjadi 1621,3 kg/m³, maka beton telah memenuhi kriteria beton ringan, karena memiliki berat isi kurang dari 1850 kg/m³.
- Kuat-tekan rata-rata beton normal umur 28 hari sebesar 25,408 MPa, hasil ini sesuai dengan mutu beton rencana $f'_{cr} = 25$ MPa. Sedang kuat-tekan rata-rata beton dengan *foam agent* 3% sebesar 12,534 MPa, hal ini masih masuk pada kriteria beton ringan yang mensyaratkan pada kisaran 6,89 – 17,24 MPa.

- c) Kombinasi beton normal di tepi dan beton ringan foam agent 3 % mampu meningkatkan kekakuan pelat sebesar 53,38 %, yaitu dari 221,984 N/mm pada pelat beton foam agent 3% menjadi 340,481 N/mm. Hal ini menunjukkan bahwa dengan mengkombinasikan beton normal dengan beton *foam agent* 3% dapat menaikkan nilai kekakuan pada pelat beton.
- d) Penggunaan *foam agent* sebesar 3% dalam campuran beton terbukti mempengaruhi momen lentur pada pelat beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa momen lentur pelat dengan *foam agent* 3% mencapai rata-rata sebesar 935906 N.mm, sedangkan pelat kombinasi beton normal dan *foam agent* 3% diperoleh nilai rata-rata sebesar 1390344 N.mm, mengalami kenaikan 49% dari benda uji pelat dengan *foam agent* 3%.
- e) Beban hidup yang mampu ditopang benda uji PBFA 3% sebesar 1,298 kN/m². Sedangkan beban hidup yang mampu ditopang benda uji PBFA 3% sebesar 2,410 kN/m². Berdasarkan SNI 1727:2020, pelat lantai dengan kombinasi beton normal dan beton foam agent cocok digunakan pada lantai gedung kantor. Kombinasi ini memungkinkan lantai memiliki kekuatan yang baik dari beton normal sekaligus memberikan manfaat bobot yang lebih ringan dari beton foam, yang bisa membantu mengurangi beban struktur secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiasa, A. M., Prakosa, D. K., Hatmoko, J. U. D., & Santoso, T. D. (2015). Evaluasi Penggunaan Beton Precast Di Proyek Konstruksi. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(1), 126-134. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SK-SNI-T-15-1990-03 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Departemen Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1974-1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, Departemen Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03-3449-2002, *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton dengan Agregat Ringan*, Departemen Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1970:2008, *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*, Departemen Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 4431:2011, *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*, Departemen Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012), SNI 7832:2012, *Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton Pracetak Untuk Konstruksi Bangunan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 2816:2014, *Metode Uji Bahan Organik Dalam Agregat Halus Untuk Beton*, Departemen Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 4154:2014, *Metode Uji Kekuatan Lentur Beton (Menggunakan Balok Sederhana dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang)*, Departemen Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Departemen Pekerjaan Umum dan Pemukiman Rakyat, Jakarta.
- Hidayati, I., Abdi, F. N., & Widiastuti, M. (2022). Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap Kuat Tekan Dan Berat Beton Normal Dengan Agregat Kasar Palu Dan Halus Mahakam. *Jurnal Teknologi Sipil*. 4(1).
- Malau, F. B. (2014). Penelitian Kuat Tekan dan Berat Jenis Mortar untuk Dinding Panel dengan Membandingkan Penggunaan Pasir Bangka dan Pasir Baturaja dengan Tambahan Foaming Agent dan Silica Fume. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2(2).
- Rochman, A., Ujianto, M., & Hidayatulloh, N. R. (2021). Kuat Lentur Pelat Beton Precast Segmental Tanpa Grouting Menggunakan Tulangan Konvensional Dengan Perkat Lem Beton. *Prosiding CEEDRiMS : Inovasi Teknologi dan Material Terbaru Menuju Infrastruktur Yang Aman Terhadap Bencana dan Ramah Lingkungan*.
- Rochman, A, 2021, *Teknologi Beton*, Muhammadiyah University Press, Surakarta.

- Tisnawan, R., Yazid, M., Basri, D. R., Husaini, R. R., & Saputra, A. (2023). Analisa Perbandingan Mortar Busa Menggunakan Foaming Agent Nabati Dan Foaming Agent Kimia Terhadap Kuat Tekan Bebas. Akselerasi: *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 4(2).
- Vricilia, M., Ridwan, A., & Candra, A. I. (2020). Kuat Tekan Pelat Beton Menggunakan Pasir Wlingi dan Wiremesh Diameter 4 Mm. *JURMATEKS : Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(2), 220–233. <https://doi.org/10.30737/jurmateks>