



Analisis Pengaruh Masa Curing terhadap Perubahan Density Mortar Busa

Rio^{1✉}, Andi Marini Indriani², Martheana Kencanawati³

^{1,2,3} Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Prodi Teknik Sipil, Universitas Balikpapan

Korespondensi Email: 217011630@uniba-bpn.ac.id ✉, andi.marini@uniba-bpn.ac.id, martheana@uniba-bpn.ac.id

Abstrak:

Mortar busa merupakan inovasi teknologi dengan sifat pemadatan sendiri, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengganti berkualitas tinggi (tanah bermutu tinggi) untuk material lapisan pondasi ringan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi persentase bahan pembusa dan durasi pengeringan terhadap kepadatan mortar busa. Metode pencampuran penelitian ini meliputi pembuatan campuran dengan variasi persentase bahan pembusa sebanyak 2%, 4%, dan 6%, pengeringan pada interval 7, 14, 21, dan 28 hari, dan menganalisis data kepadatan untuk melihat pola perubahannya. Hasil penelitian dengan tekanan kompresor busa 4 bar, 2% bahan pembusa memperoleh kepadatan 0,709 gr/cm³ dan 4% memperoleh 0,693 gr/cm³ dan 6% memperoleh 0,688 gr/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa 6% bahan pembusa memiliki kepadatan terendah, artinya mortar busa paling ringan. Peningkatan jumlah bahan pembusa terbukti menurunkan nilai kepadatan mortar akibat peningkatan volume pori udara dalam matriks mortar, sementara periode pengeringan yang lebih lama berperan dalam menstabilkan struktur pori melalui proses hidrasi semen yang lebih sempurna. Secara teknis, temuan ini dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam desain campuran mortar busa, khususnya dalam menentukan dosis bahan pembusa untuk mencapai target kepadatan tertentu sesuai dengan spesifikasi desain. Oleh karena itu, pengendalian bahan pembusa dan waktu pengeringan merupakan faktor penting dalam menentukan kualitas mortar busa.

Kata kunci: Kepadatan, mortar busa, bahan pembusa, waktu pengeringan

Pendahuluan

Mortar busa (foam mortar) merupakan salah satu inovasi material konstruksi yang berkembang pesat dalam beberapa dekade terakhir, khususnya dalam aplikasi konstruksi yang membutuhkan material ringan namun tetap memiliki kinerja mekanik yang memadai. Secara umum, mortar busa dikategorikan sebagai bagian dari beton ringan berbasis semen yang memiliki struktur berpori akibat penambahan busa (foaming agent) ke dalam campuran mortar. Karakteristik self-compacted yang

Submitted	: 16 February 2026
Revised	: 19 February 2026
Acceptance	: 23 February 2026
Publish Online	: 24 February 2026

dimilikinya memungkinkan mortar busa mengisi rongga tanpa pemadatan mekanis intensif, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai material pengganti tanah pilihan (high-grade soil) pada lapisan pondasi jalan ([Hao et al., 2024](#); [Wartoyo et al., 2022](#)).

Secara komposisi, mortar busa tersusun atas semen Portland, agregat halus (pasir), air, dan busa yang dihasilkan dari foam agent dengan proporsi tertentu. Perbandingan material dan kualitas busa sangat menentukan karakteristik akhir mortar, terutama densitas dan kekuatan tekan ([Liu et al., 2022](#)). Densitas merupakan parameter utama yang menjadi indikator tingkat keringanan material sekaligus berpengaruh langsung terhadap sifat mekanik dan durabilitasnya. Dalam konteks regulasi di Indonesia, penggunaan mortar busa sebagai material ringan lapisan pondasi harus memenuhi ketentuan densitas kering maksimum sebesar $0,8 \text{ gr/cm}^3$ dan kekuatan tekan minimum 20 kg/cm^2 pada umur 14 hari sebagaimana diatur dalam Surat Edaran Menteri PUPR No. 46/SE/M (2015). Oleh karena itu, pengendalian densitas menjadi aspek krusial dalam desain campuran mortar busa.

Densitas mortar busa sangat dipengaruhi oleh volume dan stabilitas gelembung udara yang dihasilkan oleh foam agent. Semakin tinggi kadar foam agent, semakin banyak gelembung udara yang terbentuk dalam matriks mortar, sehingga volume pori meningkat dan densitas menurun ([Gołaszewski et al., 2022](#)). Fenomena ini terjadi karena busa membentuk rongga-rongga terdistribusi yang mengurangi berat isi material secara keseluruhan. Sebaliknya, penggunaan foam agent dalam jumlah lebih sedikit akan menghasilkan struktur yang lebih padat dengan porositas lebih rendah dan densitas lebih tinggi ([Pah et al., 2022](#)).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kadar foam agent sebesar 2%, 4%, dan 6% pada tekanan 4 bar menghasilkan tren penurunan densitas seiring meningkatnya persentase foam agent. Pada umur 14 hari, densitas rata-rata berturut-turut adalah $0,709 \text{ gr/cm}^3$ (2%), $0,693 \text{ gr/cm}^3$ (4%), dan $0,688 \text{ gr/cm}^3$ (6%). Data ini memperlihatkan bahwa peningkatan kadar foam agent sebesar 2%–6% secara konsisten menurunkan densitas mortar busa, sekaligus tetap berada dalam batas standar maksimum $0,8 \text{ gr/cm}^3$. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa peningkatan volume udara dalam campuran secara langsung mengurangi berat isi dan menghasilkan material yang lebih ringan ([Song et al., 2024](#); [Santoso & Miftah, 2023](#)).

Selain variasi foam agent, masa curing juga memiliki peranan penting terhadap perubahan densitas mortar busa. Proses curing memungkinkan berlangsungnya reaksi hidrasi semen secara berkelanjutan, menghasilkan produk hidrat seperti calcium silicate hydrate (C–S–H) yang berfungsi sebagai pengikat utama dalam struktur mikro mortar. Selama proses ini, terjadi pengurangan kadar air bebas, pemadatan dinding pori, serta penyempurnaan struktur internal material ([Shill et al., 2024](#); [Jierula et al., 2024](#)).

Data penelitian menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan densitas seiring bertambahnya umur curing dari 7 hingga 28 hari pada seluruh variasi foam agent. Sebagai contoh, pada variasi 2% foam agent, densitas meningkat dari $0,695 \text{ gr/cm}^3$ (7 hari) menjadi $0,795 \text{ gr/cm}^3$ (28 hari). Peningkatan ini terjadi akibat proses hidrasi yang semakin sempurna dan berkurangnya kandungan air yang menguap, sehingga struktur menjadi lebih padat. Fenomena serupa juga dilaporkan dalam berbagai penelitian yang menyatakan bahwa pertambahan umur curing meningkatkan stabilitas mikrostruktur dan massa jenis efektif material ([Yang et al., 2022](#); [Gencel et al., 2022](#)).

Meskipun terjadi peningkatan densitas selama curing, seluruh sampel tetap berada di bawah batas maksimum $0,8 \text{ gr/cm}^3$ hingga umur 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi campuran yang digunakan masih berada dalam rentang aman sesuai

standar. Namun demikian, tren kenaikan densitas tersebut mengindikasikan perlunya perencanaan campuran yang cermat, terutama jika target densitas dirancang mendekati batas maksimum. Tanpa pengendalian yang tepat, potensi peningkatan densitas akibat curing lanjutan dapat menyebabkan nilai akhir melampaui spesifikasi yang ditetapkan.

Hubungan antara densitas dan sifat mekanik juga menjadi aspek penting dalam analisis. Secara umum, peningkatan densitas berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan tekan karena struktur menjadi lebih padat dan pori-pori lebih terkonsolidasi ([Gwózdź-Lasoń et al., 2025](#); [Syahrul & Amir, 2024](#)). Dengan demikian, meskipun mortar busa ditujukan sebagai material ringan, keseimbangan antara densitas dan kekuatan tekan tetap harus diperhatikan agar memenuhi persyaratan struktural maupun fungsional.

Dari sudut pandang teknis, variasi foam agent 6% menghasilkan densitas paling rendah pada setiap umur pengujian, sehingga berpotensi paling efektif dalam aplikasi yang membutuhkan material sangat ringan. Namun, peningkatan porositas yang terlalu tinggi juga dapat berdampak pada penurunan kekuatan tekan dan durabilitas apabila tidak diimbangi dengan desain campuran yang tepat ([Mohamed et al., 2024](#)). Oleh karena itu, optimasi komposisi campuran perlu mempertimbangkan keseimbangan antara ringan dan kuat.

Penelitian ini mengisi celah kajian sebelumnya yang umumnya lebih menitikberatkan pada kuat tekan dibandingkan perubahan densitas secara bertahap selama curing ([Ibrahim et al., 2021](#)). Dengan menganalisis variasi foam agent secara simultan terhadap masa curing, penelitian ini memberikan gambaran komprehensif mengenai dinamika perubahan densitas mortar busa dari umur awal hingga 28 hari.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menegaskan bahwa densitas mortar busa merupakan parameter yang sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu kadar foam agent dan masa curing. Peningkatan kadar foam agent menurunkan densitas akibat bertambahnya volume pori udara, sedangkan peningkatan masa curing cenderung meningkatkan densitas akibat penyempurnaan proses hidrasi dan stabilisasi struktur mikro. Kombinasi kedua variabel tersebut harus dirancang secara sistematis untuk menghasilkan mortar busa yang memenuhi standar teknis sebagai material ringan lapisan pondasi.

Dengan demikian, pengendalian komposisi foam agent dan durasi curing bukan hanya aspek teknis laboratorium, melainkan juga menjadi dasar penting dalam implementasi lapangan. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam penyusunan desain campuran mortar busa yang efisien, ekonomis, dan sesuai spesifikasi, serta mendukung pengembangan teknologi konstruksi berkelanjutan yang memanfaatkan material ringan berkinerja tinggi.

Metode

1. Pengujian Agregat Halus

Tempat dan waktu dilaksanakan pengujian di laboratorium Universitas Balikpapan, dengan pengambilan material berasal dari Kabupaten Paser Desa Muara Samu. Untuk pengujian agregat halus yang digunakan mengacu pada standard SNI seperti yang ditampilkan pada Tabel 1berikut ini.

Table 1. SNI Pengujian Agregat

No.	Keterangan	Sumber
-----	------------	--------

1.	Berat jenis dan penyerapan air agregat halus	SNI 1970:2008
2.	Kadar air agregat halus	SNI 1971:2011
3.	Kadar lumpur agregat halus	SNI ASTM C117:2012
4.	Berat isi volume agregat halus	SNI 03-4804-1998
5.	Analisa saringan agregat halus	SNI 03-2834-2000
6.	Kualitas mortar ringan	SNI 7974:2018

2. Pembuatan Busa

Variasi dalam penelitian ini terdiri atas kombinasi penggunaan *foam agent* dengan konsentrasi 2%, 4%, dan 6% pada tekanan kompresor sebesar 4 bar (Rudziewicz et al., 2025). Proses pembuatan busa diawali dengan menyiapkan wadah untuk mencampur *foam agent* yang telah ditakar dengan 1 liter air sesuai komposisi yang ditentukan. Selanjutnya, mesin kompresor dinyalakan hingga mencapai tekanan yang direncanakan, kemudian mesin generator *foam agent* dihidupkan dan selang dari kompresor disambungkan ke generator untuk memulai proses pembentukan busa. Busa yang dihasilkan kemudian ditampung dalam wadah dan ditimbang sesuai kebutuhan berdasarkan variasi campuran yang telah ditetapkan (Mohamed et al., 2024; Abudinen et al., 2024). Prosedur ini dilakukan secara konsisten untuk memastikan stabilitas gelembung udara yang terbentuk, karena kualitas dan homogenitas busa sangat berpengaruh terhadap struktur pori serta nilai densitas mortar busa yang dihasilkan.

Tabel 2. Komposisi campuran pembentuk busa

Variasi Foam Agent (%)	Air (mL)	Jumlah Foam Agent (mL)
2	1000	20
4	1000	40
6	1000	60

3. Metode Pencampuran

Benda uji yang dibuat berbentuk silinder dengan diameter 10cm, tinggi 20cm. Dengan Langkah kerja sebagai berikut:

1. Aduk campuran pasir dan semen hingga merata. Tambahkan air sesuai kebutuhan. Untuk hasil yang lebih efisien, gunakan mesin mixer khusus mortar.
2. Campurkan adonan mortar dengan busa secara perlahan sambil diaduk hingga homogen. Tuang campuran ke dalam cetakan yang telah diolesi oli untuk mencegah lengket.
3. Diamkan selama 1x24 jam agar material mengeras dan memudahkan proses pelepasan dari cetakan.
4. Lakukan proses *curing* dengan variasi waktu 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari untuk mengamati perubahan density yang terjadi

3. Populasi Sampel

Jumlah sampel yang digunakan Adalah sebanyak 36 buah dengan perincian seperti ditampilkan pada Tabel 2

Table 3. Populasi Sampel

Tekanan Kompresor	Variasi <i>Foam Agent</i>	Masa <i>Curing</i> (Hari)				Jumlah Benda Uji
4 bar	2%	7	14	21	28	12
	4%	3	3	3	3	12
	6%	3	3	3	3	12
	Jumlah Keseluruhan Sampel					36

Hasil Penelitian

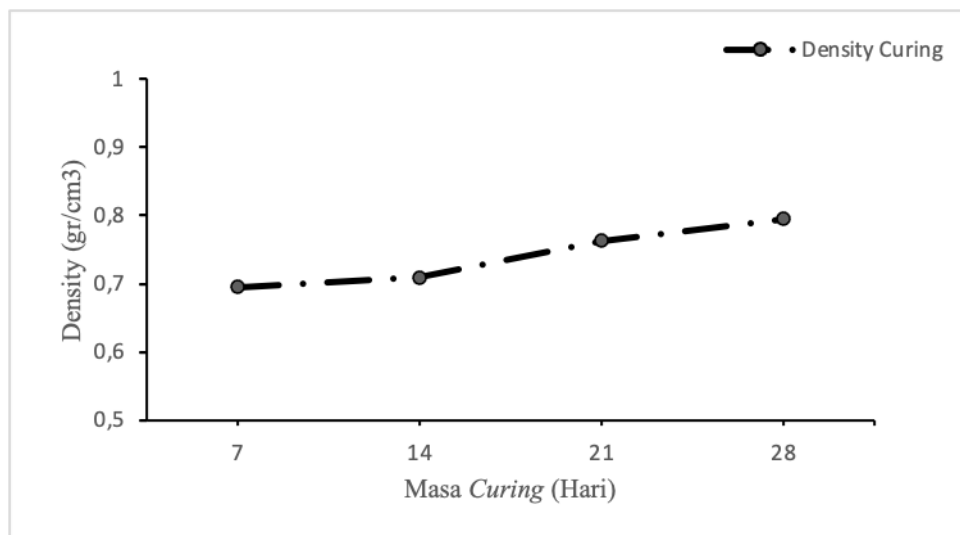
1. *Density* Mortar Busa 4 Bar 2%

Hasil *Density* mortar busa umur 7 hari 14 hari 21 hari 28 hari dengan variasi 4 bar 2% *foam agent* yang dapat di lihat nilai rata-rata *Density* mencapai 0,740 gr/cm³ yang dimana nilai *Density* sesuai dengan rencana. Dapat di lihat pada nilai rata-rata pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Analisa 4 Bar 2% Agent Foam

Masa curing	Density (gr/cm ³)	Standar maksimum (gr)	Keterangan
7 hari	0,695	0,8	Memenuhi
14 hari	0,709		Memenuhi
21 hari	0,763		Memenuhi
28 hari	0,795		Memenuhi

Adapun grafik dibawah ini dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut:

Gambar 1. Grafik nilai *Density* Mortar Busa Tekanan 4 bar 2% Berdasarkan Masa Curing

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 4 dan grafik pada Gambar 1, mortar busa umur 7 hari memiliki density sebesar 0,695 gr/cm³ dan pada umur 14 hari meningkat menjadi 0,709 gr/cm³. Persentase perubahan antara umur 7 hari dan 14 hari adalah sebesar 2,01%. Selanjutnya, pada umur 21 hari density meningkat menjadi 0,763 gr/cm³ dengan persentase perubahan sebesar 7,61% dari umur 14 hari. Pada umur 28 hari, density kembali mengalami peningkatan menjadi 0,795 gr/cm³ dengan persentase

perubahan sebesar 4,19% dari umur 21 hari. Peningkatan densitas secara bertahap ini menunjukkan adanya proses pemadatan struktur internal mortar busa seiring bertambahnya waktu curing. Fenomena ini sejalan dengan temuan [Mydin et al. \(2024\)](#) serta [Hamidi et al. \(2022\)](#) yang menyatakan bahwa proses hidrasi semen yang berkelanjutan selama masa curing menyebabkan berkurangnya porositas terbuka dan meningkatnya kerapatan matriks mortar, sehingga nilai densitas mengalami kenaikan.

Hasil penelitian ini juga konsisten dengan kajian yang mengkaji hubungan antara densitas dan kekuatan tekan pada beton busa, di mana ditemukan adanya korelasi positif antara peningkatan densitas dan peningkatan sifat mekanik material. Semakin lama masa curing, penguapan air semakin berkurang, struktur menjadi lebih stabil dan kompak, serta massa jenis meningkat akibat pembentukan produk hidrasi yang lebih sempurna. Kondisi tersebut menyebabkan densitas dan performa mekanik material berkembang secara progresif dari umur awal hingga umur lanjutan ([Tsivouraki et al., 2024](#)).

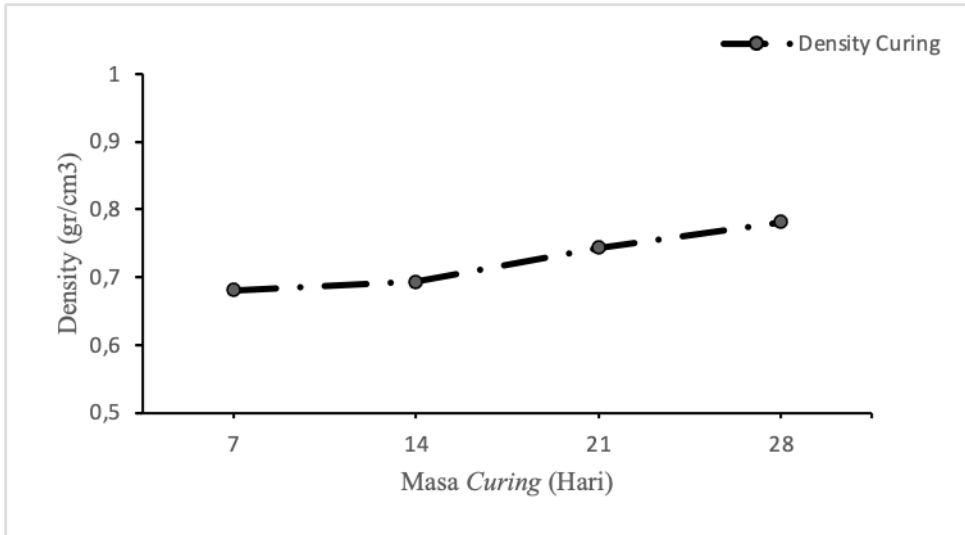
2. Density Mortar Busa 4 Bar 4%

Hasil *Density* mortar busa umur 7 hari 14 hari 21 hari 28 hari dengan variasi 4 bar 4% *foam agent* yang dapat di lihat nilai rata-rata *Density* mencapai 0,724 gr/cm³ yang dimana nilai *Density* sesuai dengan rencana. Dapat di lihat pada nilai rata-rata pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Analisa 4 Bar 4% Agent Foam

Masa curing	Density (gr/cm ³)	Standar maksimum (gr)	Keterangan
7 hari	0,681	0,8	Memenuhi
14 hari	0,693		Memenuhi
21 hari	0,743		Memenuhi
28 hari	0,781		Memenuhi

Adapun grafik dibawah ini dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik nilai Density Mortar Busa Tekanan 4 bar 4% Berdasarkan Masa Curing

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 5 dan grafik pada Gambar 2, mortar busa umur 7 hari memiliki density sebesar 0,681 gr/cm³ dan meningkat menjadi 0,693 gr/cm³ pada umur 14 hari. Persentase perubahan antara umur 7 hari dan 14 hari adalah

sebesar 1,76%. Selanjutnya, pada umur 21 hari density meningkat menjadi 0,743 gr/cm³, sedangkan pada umur 28 hari mencapai 0,781 gr/cm³. Peningkatan dari 14 hari ke 21 hari menunjukkan perubahan sebesar 0,07%, dan dari 21 hari ke 28 hari sebesar 5,11%. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa peningkatan umur curing berkontribusi terhadap perubahan densitas beton busa akibat berlangsungnya proses hidrasi semen yang semakin sempurna (Yang et al., 2022).

Penelitian ini juga konsisten dengan kajian mengenai hubungan antara densitas dan kekuatan tekan pada beton busa, di mana ditemukan adanya korelasi positif antara peningkatan densitas dan peningkatan sifat mekanik material. Semakin lama proses curing berlangsung, penguapan air semakin berkurang dan struktur mikro beton menjadi lebih padat, sehingga massa jenis material meningkat (Gwóźdz-Lason et al., 2025; Syahrul & Amir, 2024). Dengan demikian, variasi masa curing terbukti berperan penting dalam menentukan karakteristik fisik mortar busa, khususnya dalam pengendalian densitas agar tetap memenuhi standar perencanaan.

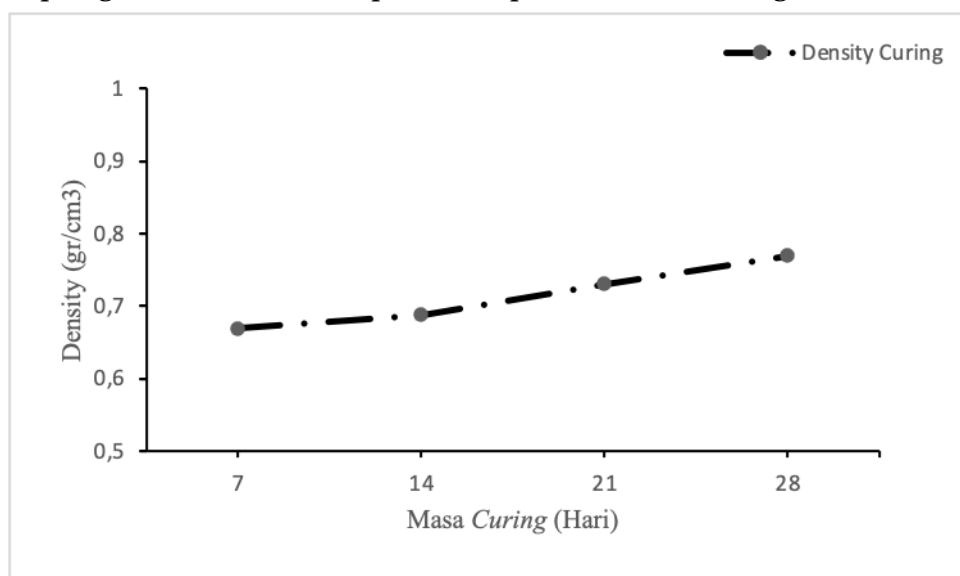
3. Density Mortar Busa 4 Bar 6%

Hasil *Density* mortar busa umur 7 hari 14 hari 21 hari 28 hari dengan variasi 4 bar 6% *foam agent* yang dapat di lihat nilai rata-rata *Density* mencapai 0,714 gr/cm³ yang dimana nilai *Density* sesuai dengan rencana. Dapat di lihat pada nilai rata-rata pada tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Analisa 4 Bar 6% Agent Foam

Masa curing	Density (gr/cm ³)	Standar maksimu (gr)	Keterangan
7 hari	0,669	0,8	Memenuhi
14 hari	0,688		Memenuhi
21 hari	0,730		Memenuhi
28 hari	0,769		Memenuhi

Adapun grafik dibawah ini dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik nilai Density Mortar Busa Tekanan 4 bar 6% Berdasarkan Masa Curing

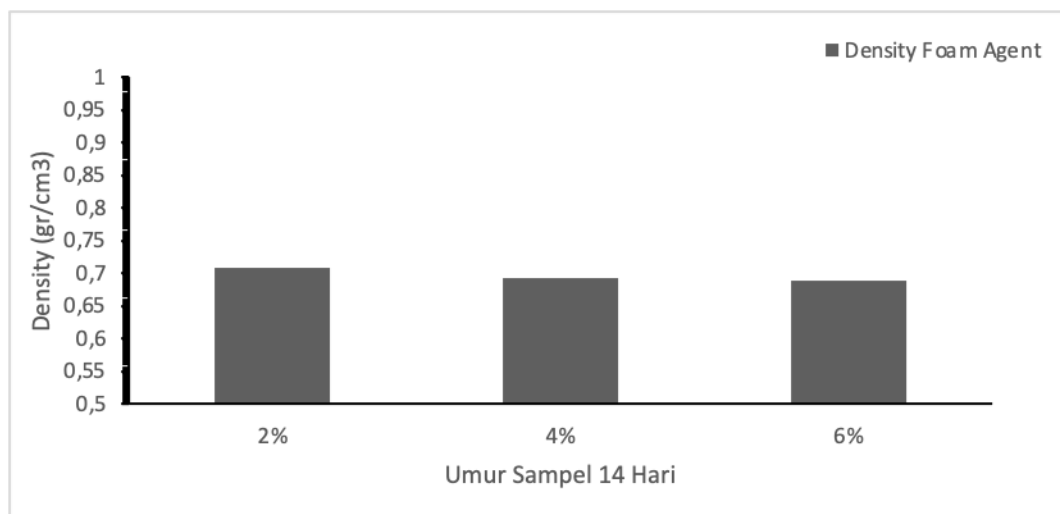
4. Foam Agent 2% 4% dan 6% Umur 28 Hari 4 Bar

Hasil *Density* mortar busa umur 14 hari dengan variasi 4 bar 2% 4% dan 6% *foam agent* yang dapat di lihat nilai rata-rata *Density* mencapai 0,696 gr/cm³ yang dimana nilai *Density* sesuai dengan rencana. Dapat di lihat pada nilai rata-rata pada pada tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7 Hasil Analisa 4 Bar 2% 4% 6% Umur 14 Hari

Umur Sampel	Variasi foam agent	Density (gr/cm ³)	Standar (gr/cm ³)	Keterangan
14 Hari	2%	0,709	0,8	Memenuhi
14 Hari	4%	0,693		Memenuhi
14 Hari	6%	0,688		Memenuhi

Adapun grafik dibawah ini dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4 Analisa Variasi Foam Agent Terhadap Density Mortar Busa Pada Umur 28 Hari

Berdasarkan data pada Tabel 7 dan grafik pada Gambar 4, perubahan persentase antara foam agent 2% dan 4% sebesar 2,25%, di mana foam agent 2% memiliki density 0,709 gr/cm³ sedangkan foam agent 4% sebesar 0,693 gr/cm³. Sementara itu, perubahan antara foam agent 4% dan 6% sebesar 0,72%, dengan nilai density masing-masing 0,693 gr/cm³ dan 0,688 gr/cm³. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar foam agent cenderung menurunkan nilai densitas mortar busa.

Penelitian ini membuktikan bahwa variasi kadar foam agent (2%, 4%, dan 6%) serta tekanan udara 4 bar berpengaruh nyata terhadap nilai densitas mortar busa. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa densitas mortar busa berubah seiring dengan komposisi campuran dan lamanya masa curing (7, 14, 21, hingga 28 hari), yang memengaruhi perkembangan struktur mikro material (Achidah et al., 2024). Semakin besar kadar foam agent yang digunakan, densitas mortar busa cenderung menurun akibat bertambahnya volume pori udara dalam matriks mortar, sehingga menghasilkan mortar yang lebih ringan (Song et al., 2024).

Sebagian besar nilai densitas yang diperoleh telah sesuai dengan standar perencanaan sekitar 0,8 gr/cm³, meskipun pada kondisi tertentu terdapat sampel yang belum sepenuhnya memenuhi kriteria tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian komposisi foaming agent dan parameter produksi sangat menentukan kualitas akhir mortar busa. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengetahui

pengaruh foaming agent, tekanan udara, serta masa curing terhadap densitas mortar busa dapat tercapai (Santoso & Miftah, 2023). Temuan ini memberikan dasar pemahaman yang bermanfaat dalam pengembangan mortar busa sebagai material ringan lapisan pondasi maupun elemen non-struktural dalam konstruksi.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi jumlah foaming agent dan lama masa curing berpengaruh signifikan terhadap nilai density mortar busa. Peningkatan jumlah foaming agent terbukti menurunkan nilai density mortar sebagai akibat bertambahnya volume pori udara dalam matriks mortar, sedangkan masa curing yang lebih lama berperan dalam menstabilkan struktur pori melalui proses hidrasi semen yang berlangsung lebih sempurna. Secara teknis, temuan ini dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan perancangan campuran mortar busa, khususnya dalam menentukan dosis foaming agent untuk mencapai target density tertentu sesuai dengan spesifikasi perencanaan. Dengan demikian, pengendalian foaming agent dan masa curing menjadi aspek penting dalam produksi mortar busa yang berkualitas.

Daftar Pustaka

- Abudinen, D., Murillo, M., Gómez, W., Ardila, A., & Espitia, E. (2024). Experimental study of foaming agent proportions for cellular concrete fabrication: A case study in Barranquilla. *Civil Engineering and Architecture*, 12(4), 3063–3078. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120442>
- Achidah, F., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2024). Pengaruh penambahan cacahan plastik PET (polyethylene terephthalate) pada beton menggunakan agregat kasar batu Petangis terhadap kuat tekan. *Media Bina Ilmiah*, 18(6), 1439–1442. <https://doi.org/10.33758/mbi.v18i6.687>
- Compaoré, A., et al. (2023). Preparation and characterization of foamed concrete using a foaming agent and local mineral resources from Burkina Faso. *Results in Materials*, 17, 100365. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2023.100365>
- Fadli, K., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2024). Analisis kuat lentur beton menggunakan plastik jenis polyethylene terephthalate (PET) sebagai rigid pavement. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 1(2), 16–17. <https://doi.org/10.62603/konteks.v1i2.27>
- Gencel, O., Bilir, T., Bademler, Z., & Ozbakkaloglu, T. (2022). A detailed review on foam concrete composites: Ingredients, properties, and microstructure. *Applied Sciences*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/app12115752>
- Gołaszewski, J., et al. (2022). Effect of foaming agent, binder and density on the compressive strength and thermal conductivity of ultra-light foam concrete. *Buildings*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/buildings12081176>
- Gwóźdz-Lasoń, M., Brachaczek, W., Kadela, M., & Kukiłka, A. (2025). Physical properties of foamed concrete based on plaster mortar with polystyrene granulate and synthetic foaming agent. *Materials*, 18(9). <https://doi.org/10.3390/ma18092115>
- Hamidi, A., Saily, R., & Hidayat, M. A. (2022). Pengaruh sifat karakteristik mortar busa dengan penambahan additive. *Sainstek (e-Journal)*, 10(1), 73–79. <https://doi.org/10.35583/js.v10i1.11>
- Hao, D., Miao, C., Fang, S., Wang, X., & Shu, Q. (2024). Experimental and numerical study on lightweight-foamed-concrete-filled widened embankment of high-speed railway. *Materials*, 17(18), 1–26. <https://doi.org/10.3390/ma17184642>
- Ibrahim, Amiruddin, Sulianti, I., Subrianto, A., Fajriani, I., & Habib, N. F. (2021). The effect of air pressure on foamed mortar production. *Proceedings of the 4th Forum on Research and Science Technology*, 7, 300–303. <https://doi.org/10.2991/ahe.k.210205.051>
- Jierula, A., Li, H., Chen, Y., Wu, C., Wu, X., & Yin, H. (2024). Study on the influence of

- density and water–cement ratio on the cement utilization, fluidity, mechanical properties, and water absorption of foam concrete. *Buildings*, 14(11), 1–17. <https://doi.org/10.3390/buildings14113550>
- Liu, J., Ge, T., Wu, Y., & Chen, R. (2022). Effect of sand-to-cement ratio on mechanical properties of foam concrete. *Buildings*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/buildings12111969>
- Mohamed, A. M., Tayeh, B. A., Majeed, S. S., Aisheh, Y. I. A., & Salih, M. N. A. (2024). Ultra-light foamed concrete mechanical properties and thermal insulation perspective: A comprehensive review. *Journal of CO₂ Utilization*, 83, 102827. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2024.102827>
- Othuman Mydin, M. A., Jagadesh, P., Bahrami, A., Dulaimi, A., Özkılıç, Y. O., & Omar, R. (2024). Enhanced fresh and hardened properties of foamed concrete modified with nano-silica. *Heliyon*, 10(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25858>
- Pah, J. J. S., Tulle, P. M., Bella, R. A., & Sina, D. A. T. (2022). Hubungan faktor air-semen dan faktor air-foam terhadap kuat tekan dan berat volume bara ringan CLC.
- Rudziejewicz, M., Maroszek, M., Hutyra, A., Góra, M., Rusin-Żurek, K., & Hebda, M. (2025). Influence of foaming agents and stabilizers on porosity in 3D printed foamed concrete. *Processes*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/pr13020403>
- Santoso, T. B., & Miftah, M. F. (2023). Pengaruh penambahan foam agent terhadap density, daya serap air dan kuat tekan mortar. *Jurnal Riset Teknik Sipil dan Sains*, 2(1), 32–39. <https://doi.org/10.57203/jriteks.v2i1.2023.32-39>
- Shill, S. K., Garcez, E. O., Al-Deen, S., & Subhani, M. (2024). Influence of foam content and concentration on the physical and mechanical properties of foam concrete. *Applied Sciences*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/app14188385>
- Song, Q., et al. (2024). Performance study of foam concrete prepared by the synergistic utilization of agricultural waste and coal gangue based on double orthogonal experiments. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e03677. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03677>
- Surat Edaran Nomor 46/SE/M. (2015). Spesifikasi material ringan mortar busa.
- Syahrul, & Amir. (2024). Korelasi kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton busa komposisi bahan ramah lingkungan. *Jurnal Inersia*, 16(1), 82–91. <https://doi.org/10.46964/inersia.v16i1.988>
- Tisnawan, R. (2023). Analisa perbandingan mortar busa menggunakan foaming agent nabati dan foaming agent kimia terhadap kuat tekan bebas. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 4(2), 17–26. <https://doi.org/10.37058/aks.v4i2.6524>
- Tsivouraki, N., Tserpes, K., & Sioutis, I. (2024). Modelling of fatigue delamination growth and prediction of residual tensile strength of thermoplastic coupons. *Materials*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/ma17020362>
- Wartoyo, L. A., Lastiasih, Y., Taufik, R., & Ismawanto, I. (2022). Analisis stabilitas timbunan tinggi pada mortar busa menggunakan metode elemen hingga pada proyek pembangunan jalan baru batas Kota Singaraja–Mengwitani. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20(1), 79. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v20i1.11578>
- Wei, J., Wang, T., Zhong, Y., Zhang, Y., & Leung, C. K. Y. (2024). Performance evaluation of foamed concrete with lightweight aggregate: Strength, shrinkage, and thermal conductivity. *Materials*, 17(15). <https://doi.org/10.3390/ma17153869>
- Yang, X., Xu, S., Zhao, Z., & Lv, Y. (2022). Strength, durability, and microstructure of foamed concrete prepared using special soil and slag. *Sustainability*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/su142214952>