

Pengaruh Modifikasi Agregat Halus dan Volume Foam terhadap Sifat Mekanik Beton Busa

Naifah⁽¹⁾, Ghaitza Zahira Sabila⁽²⁾, Syamsul Bahri⁽³⁾

¹Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung,
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe

²Mahasiswa, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan,
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe.

³Dosen, Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan,
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe.

email: Naifah1998@pnl.ac.id, ghaitsazahira59@gmail.com, Syamsul_bahri@pnl.ac.id

ABSTRACT

Foamed concrete is a lightweight concrete produced by incorporating foam into a cement paste matrix of water and fine aggregates, forming air voids that reduce density. This study evaluates the effect of fine aggregate size and foam volume on the compressive performance of foamed concrete. Fine aggregates with sizes of 4.75 mm, 2.36 mm, and 1.18 mm were used, with target densities of 800, 1000, and 1200 kg/m³. Mix design followed the Absolute Volume Method in compliance with ASTM C29 and SNI standards. Results show that higher density mixes (1200 kg/m³) provide greater compressive strength compared to lower densities (800 kg/m³). Reduced foam volume enhances matrix compactness, thus improving strength. Curing conditions also influence mechanical properties, with the 1200 kg/m³ mix achieving the highest shear strength. After 28 days, water curing yielded modulus of elasticity values close to or slightly lower than those under air-dried conditions.

Keywords: Foam Concrete, Compressive Strength, Density, Shear Strength, Elastic Modulus

ABSTRAK

Beton busa merupakan beton ringan yang diproduksi dengan menambahkan busa ke dalam matriks pasta semen, air, dan agregat halus sehingga terbentuk rongga udara yang menurunkan densitas. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh ukuran butir agregat halus dan volume busa terhadap kinerja kuat tekan beton busa. Agregat halus yang digunakan berukuran 4,75 mm, 2,36 mm, dan 1,18 mm dengan target densitas 800, 1000, dan 1200 kg/m³. Perancangan campuran dilakukan menggunakan Metode Absolute Volume sesuai ASTM C29 dan SNI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran dengan densitas lebih tinggi (1200 kg/m³) memberikan kuat tekan lebih besar dibandingkan campuran berdensitas rendah (800 kg/m³). Pengurangan volume busa meningkatkan kepadatan matriks sehingga memperbaiki kekuatan. Kondisi perawatan juga memengaruhi sifat mekanik, dengan campuran 1200 kg/m³ menghasilkan kuat geser tertinggi. Setelah 28 hari, perawatan perendaman menghasilkan nilai modulus elastisitas yang mendekati atau sedikit lebih rendah dibandingkan kondisi kering.

Kata kunci: Beton Busa, Kuat Tekan, Densitas, Kuat Geser, Modulus Elastisitas

1. Pendahuluan

Beton busa merupakan salah satu jenis beton ringan yang dihasilkan dengan

tingkatkan foam (busa) ke dalam campuran pasta semen, air, dan agregat halus. Kenaikan foam menghasilkan rongga udara

dalam campuran sehingga merendahkan densitas beton (Ramamurthy et al., 2009). Beton busa banyak diaplikasikan pada konstruksi non- struktural maupun semi-struktural karena sifatnya yang ringan, isolasi termal baik, dan kemampuan meredam suara (Amran et al., 2015).

Riset ini ialah lanjutan pada riset lebih dahulu yang mengkaji pada sifat mekanik foam concrete dengan modifikasi butiran agregat halus serta volume foam pada beton berbusa (Sabila et al., 2024). Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini Adalah agregat yang lolos saringan 4.75 mm, 2,36 mm, dan 1,18 mm, dan variasi volume foam yang digunakan merupakan lanjutan penelitian sebelumnya yaitu *density* 800kg/m³, 1000kg/m³, dan 1200kg/m³ pada beton berbusa. Superplastizier menggunakan jenis *ABS Additive Foam concrete* dan *Foaming Agent* dari merek ABS. Semen yang digunakan sebesar 900 kg dengan FAS sebesar 0,45 perbandingan semen dan agregat halus sebesar 1:3 dengan metode *mix desain foam concrete* yang digunakan adalah Metode Absolute (ACI Committee 211, 1917). Kuat tekan beton busa lebih rendah dibandingkan beton normal, maka penggunaan agregat halus dengan ukuran bervariasi dan variasi volume foam, serta variasi dalam komposisi campuran, merupakan hal penting dalam sifat mekanik beton busa (Hardiyanti et al., 2022).

Sebagian riset terdahulu menemukan bahwa densitas beton busa bisa dikendalikan dalam rentang 400–1600 kg/m³ melalui variasi volume foam, di mana terdapat hubungan langsung antara densitas dan kuat tekan, kuat geser dan modulus elastisitas Susilowati & Nabhan, 2021). Tidak hanya itu, pemakaian superplasticizer dalam pemilihan foaming agent yang cocok serta teruji sanggup meningkatkan stabilitas gelembung udara serta homogenitas campuran (Syahrul, 2022). Faktor rasio air-semen (FAS) serta pemakaian aditif kimia pula berfungsi dalam memperbaiki sifat

mekanik serta durabilitas beton busa (Sukmana et al., 2020).

Kajian lain menunjukkan bahwa densitas dan rasio air- semen ialah parameter dominan yang mempengaruhi sifat beton busa (Santoso & Miftah, 2023). Optimalisasi dimensi butir agregat dan pengaturan rasio foam dapat menaikkan kuat tekan (Enda et al., 2024). Penambahan aditif polimer juga dilaporkan dapat memperbaiki kuat tekan sekaligus mengurangi keretakan (Siahaan et al., 2025; Haris & Hidayat, 2020). Tidak hanya itu, pemanfaatan limbah industri selaku substitusi agregat ikut memberikan kontribusi terhadap keberlanjutan material tanpa menurunkan sifat mekaniknya (Firda et al., 2021; Purwanto et al., 2023; Lubis et al., 2019). Dengan demikian, variasi ukuran butiran agregat halus dan volume foam teruji memengaruhi mikrostruktur, densitas, serta kuat tekan beton busa (Amran et al., 2015).

Penelitian ini lanjutan dari penelitian sebelumnya yang hanya menguji kuat tekan saja tetapi Pada riset ini penulis meneliti seberapa besar pengaruh campuran agregat halus dengan volume foam terhadap sifat mekanik beton antara lain kuat tekan, kuat geser, serta modulus elastisitas. Riset ini membagikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan material konstruksi ringan berbasis beton busa, serta menunjang pelaksanaan beton busa selaku alternatif material konstruksi ramah area serta efektif dalam pembangunan..

2. Metode

Metode Penelitian ini menggunakan Metode eksperimental dengan rancangan campuran beton busa berdasarkan Metode Absolute Volume. Sebelum campuran utama dibuat, terlebih dahulu dilakukan *trial mix* untuk menentukan komposisi yang sesuai dengan target densitas yang telah ditetapkan.

a) Bahan yang digunakan terdiri dari:

1. Semen Portland sebagai bahan pengikat,
2. Agregat halus yang berasal dari daerah Lhoknibong,
3. *Foaming agent merk ABS Foam Concrete*,
4. *Superplasticizer jenis ABS Additive*.

b) Pengujian yang dilakukan meliputi:

1. Uji kuat tekan beton
2. Modulus Elastisitas
3. Uji kuat geser beton (Sabila et al., 2024).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian yang diperoleh merupakan data pengujian kuat tekan beton, kuat geser dan Modulus Elastisitas dengan *density* 800 kg/m³, kuat tekan beton *density* 1000 kg/m³, kuat tekan beton *density* 1200 kg/m³, dan kuat tekan, kuat geser, dan modulus elastisitas beton direndam selama 24 jam.

3.1 Hasil pengujian Sifat- Sifat Mekanik Beton

3.1.1 Pengujian Umur beton 7 Hari

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Sifat Mekanik Beton umur 7 Hari

Sampel	Density	Lolos Saringan	Kuat Tekan	Kuat Geser	Modulus Elastisitas
	kg/m ³				
A ₁ B ₁	800	4,75	0,84	6,72	4178,31
A ₂ B ₁	800	2,36	0,28	2,26	4520,32
A ₃ B ₁	800	1,18	0,24	1,92	5136,71
A ₁ B ₂	1000	4,75	0,66	5,29	6404,96
A ₂ B ₂	1000	2,36	0,29	2,32	6850,37
A ₃ B ₂	1000	1,18	0,05	0,41	4716,05
A ₁ B ₃	1200	4,75	1,16	9,24	8558,41
A ₂ B ₃	1200	2,36	1,46	11,68	9803,68
A ₃ B ₃	1200	1,18	1,28	10,27	9204,55

Berdasarkan hasil pengujian pada umur 7 hari (Tabel 1), terlihat bahwa nilai kuat tekan, kuat geser, dan modulus elastisitas beton busa sangat dipengaruhi oleh densitas campuran. Sampel dengan densitas rendah (800 kg/m³) menunjukkan nilai kuat tekan yang relatif kecil, yaitu berkisar antara 0,24–0,84 MPa. Nilai kuat geser pada densitas ini juga rendah, hanya mencapai 1,92–6,72 kN. Sementara itu, modulus elastisitasnya berada pada kisaran 4178,31–5136,71 MPa. Pada densitas 1000 kg/m³, terjadi sedikit peningkatan dengan nilai kuat tekan 0,05–0,66 MPa dan kuat

geser 0,41–5,29 kN. Nilai modulus elastisitas juga meningkat dengan kisaran 4716,05–6850,37 MPa. Peningkatan yang signifikan terlihat pada densitas 1200 kg/m³, di mana kuat tekan mencapai 1,16–1,46 MPa, kuat geser 9,24–11,68 kN, serta modulus elastisitas 8558,41–9803,68 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi densitas beton busa, semakin baik sifat mekanik yang dihasilkan, terutama pada penggunaan agregat dengan butiran lebih kasar.

3.1.2 Pengujian Umur beton 28 Hari

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Sifat Mekanik Beton umur 28 Hari

Sampel	Density	Lolos Saringan	Kuat Tekan	Kuat Geser	Modulus Elastisitas
	kg/m ³	mm	Mpa	KN	Mpa
A ₁ B ₁	800	4,75	1,27	10,13	4145,60
A ₂ B ₁	800	2,36	0,26	2,09	12507,06
A ₃ B ₁	800	1,18	0,25	2,03	4546,49
A ₁ B ₂	1000	4,75	1,37	10,98	8878,31
A ₂ B ₂	1000	2,36	0,36	2,86	6238,99
A ₃ B ₂	1000	1,18	0,07	0,56	4343,70
A ₁ B ₃	1200	4,75	1,23	9,84	7905,43
A ₂ B ₃	1200	2,36	1,96	7,84	4609,88
A ₃ B ₃	1200	1,18	1,65	13,18	8516,93

Hasil pengujian pada umur 28 hari (Tabel 2) menunjukkan adanya peningkatan kekuatan pada semua variasi campuran dibandingkan umur 7 hari. Pada densitas 800 kg/m³, nilai kuat tekan meningkat menjadi 0,25–1,27 MPa dengan kuat geser 2,03–10,13 kN, sedangkan modulus elastisitas berkisar antara 4145,60–12507,06 MPa. Peningkatan lebih konsisten terjadi pada densitas 1000 kg/m³, di mana kuat tekan berada pada kisaran 0,07–1,37 MPa dan kuat geser 0,56–10,98 kN.

Modulus elastisitas pada densitas ini mencapai 4343,70–8878,31 MPa. Variasi terbaik terdapat pada densitas 1200 kg/m³, dengan nilai kuat tekan 1,23–1,96 MPa, kuat geser 7,84–13,18 kN, dan modulus elastisitas 4609,88–8516,93 MPa. Secara umum, umur beton yang lebih panjang memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kekuatan, meskipun beberapa sampel menunjukkan fluktuasi nilai modulus elastisitas akibat pengaruh variasi ukuran butir agregat.

3.1.3 Pengujian Umur beton 28 Hari direndam

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Sifat Mekanik Beton umur 28 Hari direndam

Sampel	Density	Lolos Saringan	Kuat Tekan	Kuat Geser	Modulus Elastisitas
	kg/m ³	mm	Mpa	KN	Mpa
A ₁ B ₁	800	4,75	0,26	2,06	4886,44
A ₂ B ₁	800	2,36	0,25	1,96	4859,06
A ₃ B ₁	800	1,18	0,24	1,95	3980,45
A ₁ B ₂	1000	4,75	0,25	2,02	7856,33
A ₂ B ₂	1000	2,36	0,25	2,01	8158,53

A₃B₂	1000	1,18	0,19	1,55	6417,39
A₁B₃	1200	4,75	1,21	9,68	7914,17
A₂B₃	1200	2,36	1,20	9,59	9090,65
A₃B₃	1200	1,18	0,98	7,87	8493,55

Pengujian pada umur 28 hari dengan kondisi perendaman (Tabel 3) menunjukkan adanya penurunan kekuatan dibandingkan kondisi kering. Pada densitas 800 kg/m³, nilai kuat tekan hanya mencapai 0,24–0,26 MPa dengan kuat geser 1,95–2,06 kN, serta modulus elastisitas 3980,45–4886,44 MPa. Pada densitas 1000 kg/m³, hasil yang diperoleh juga relatif rendah, dengan kuat tekan 0,19–0,25 MPa, kuat geser 1,55–2,02 kN, dan modulus elastisitas 6417,39–8158,53 MPa. Namun, pada densitas 1200 kg/m³, sifat mekanik beton busa relatif lebih stabil meskipun mengalami perendaman. Nilai kuat tekan berada pada kisaran 0,98–1,21 MPa, kuat geser 7,87–9,68 kN, dan modulus elastisitas 7914,17–9090,65 MPa. Hasil ini mengindikasikan bahwa beton busa dengan densitas tinggi memiliki struktur yang lebih padat sehingga mampu mempertahankan kekuatannya meskipun dipengaruhi oleh kondisi lingkungan basah.

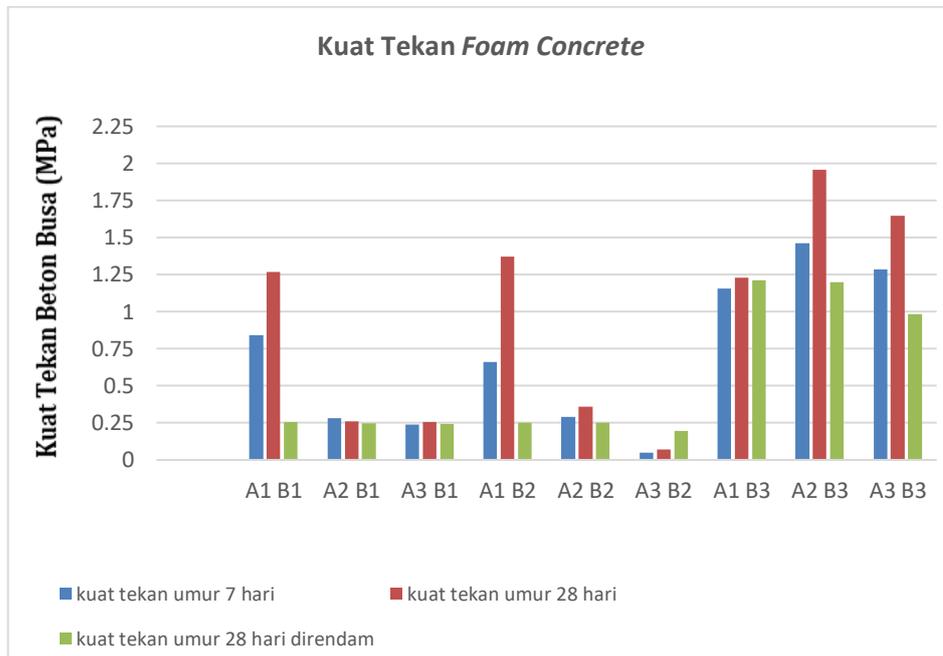
Hasil pengujian pada ketiga kondisi (umur 7 hari, umur 28 hari, dan umur 28 hari dengan perendaman) menunjukkan pola yang konsisten bahwa densitas campuran merupakan faktor dominan dalam menentukan sifat mekanik beton busa. Semakin tinggi densitas yang digunakan, semakin besar nilai kuat tekan, kuat geser, dan modulus elastisitas yang dihasilkan. Beton dengan densitas rendah (800 kg/m³) secara konsisten menunjukkan performa mekanik paling rendah, baik pada umur 7 hari maupun 28 hari, serta semakin melemah ketika dilakukan perendaman. Sebaliknya, beton dengan densitas tinggi (1200 kg/m³) mampu mempertahankan kekuatannya dengan baik, bahkan setelah

direndam, yang menunjukkan kepadatan matriks lebih baik serta stabilitas rongga udara yang terbentuk.

Selain faktor densitas, umur pengujian juga memberikan pengaruh signifikan. Semua variasi campuran mengalami peningkatan kuat tekan, kuat geser, dan modulus elastisitas dari umur 7 hari ke umur 28 hari, sejalan dengan proses hidrasi semen yang masih berlangsung. Namun, setelah perendaman, sebagian besar nilai sifat mekanik cenderung menurun, meskipun penurunan tersebut lebih kecil pada campuran berdensitas tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa perawatan dengan perendaman dapat menjaga kestabilan internal beton, namun tidak selalu meningkatkan kekuatan.

Secara umum, kombinasi densitas tinggi (1200 kg/m³) dengan agregat kasar menghasilkan sifat mekanik terbaik dibandingkan variasi lain. Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa kontrol terhadap densitas, ukuran butir agregat, serta metode perawatan sangat berpengaruh terhadap kinerja beton busa, sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam pengembangan material beton ringan untuk aplikasi struktural maupun non-struktural.

3.2 Kuat tekan beton busa



Gambar 1. Kuat tekan beton busa

Uji kuat tekan pada kubus beton berukuran 100×100×100 mm menunjukkan adanya peningkatan kekuatan dari umur 7 hari ke 28 hari. Pasir dengan butiran kasar menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibanding pasir dengan butiran lebih halus. Pada sampel (A3B1), peningkatan kuat tekan mencapai 1,06%.

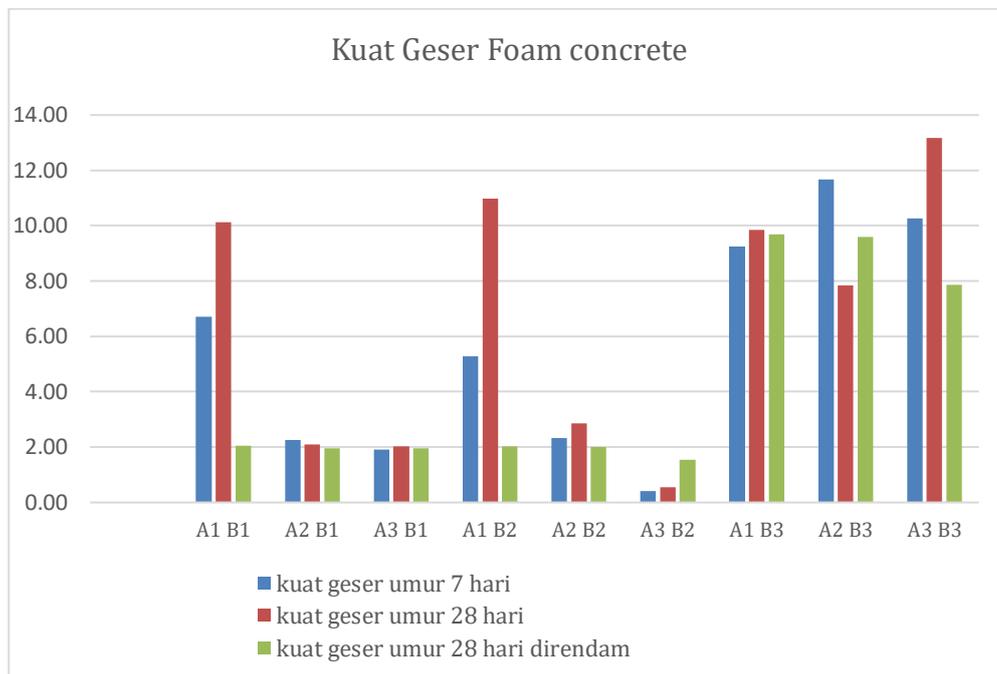
Hasil pengujian menunjukkan peningkatan kuat tekan yang lebih stabil dibanding densitas 800 kg/m³. Semua variasi pasir mengalami kenaikan kekuatan pada umur 28 hari. Peningkatan tertinggi diperoleh (A1B2) sebesar 2,08%, sedangkan terendah (A2B2) dengan nilai 1,23%.

Pada densitas ini, nilai kuat tekan seluruh sampel meningkat lebih signifikan

dibandingkan densitas sebelumnya. Kuat tekan tertinggi dicapai (A2B3) dengan kenaikan 1,34%, sementara terendah adalah (A3B3) dengan 1,06%. Densitas tinggi menghasilkan jumlah foam yang lebih sedikit, sehingga pengerjaan lebih mudah dan menghasilkan beton yang lebih konsisten.

Perendaman dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah foam dan variasi pasir terhadap ketahanan beton. Hasil pengujian menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan setelah perendaman, dan semua variasi campuran mengalami kenaikan kuat tekan. Campuran dengan pasir kasar tetap menunjukkan nilai kuat tekan lebih tinggi dibanding pasir halus.

3.3 Kuat Geser Beton Busa



Gambar 2. Kuat geser beton busa

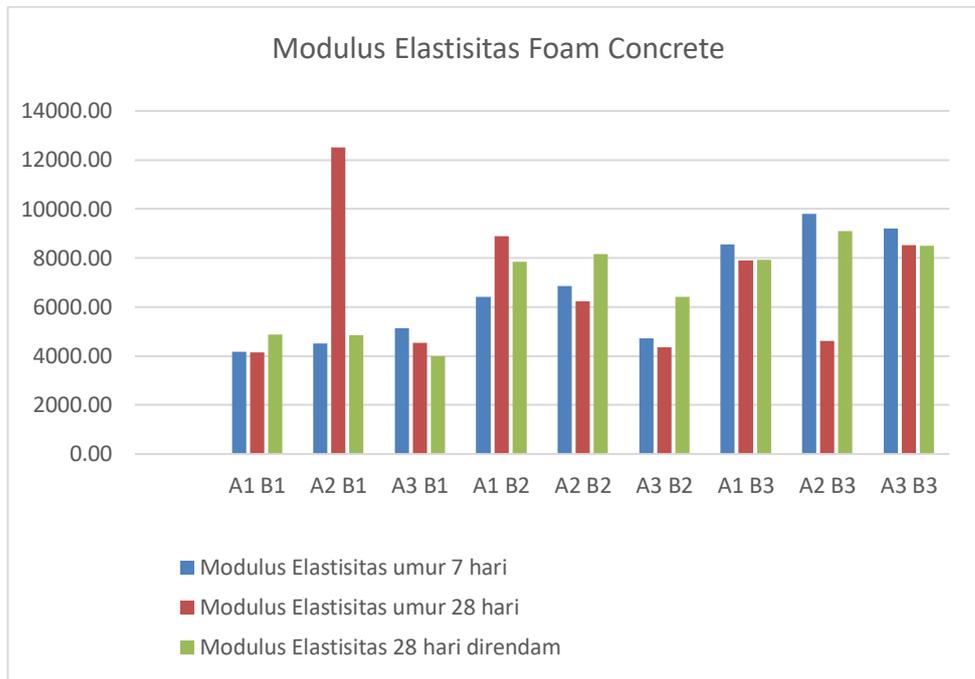
Berdasarkan grafik kuat geser foam concrete, terlihat adanya perbedaan yang cukup signifikan pada nilai kuat geser antar variasi campuran. Secara umum, kuat geser beton busa menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya umur pengujian. Hal ini terlihat dari nilai kuat geser pada umur 28 hari yang lebih tinggi dibandingkan dengan umur 7 hari. Fenomena tersebut sesuai dengan sifat dasar beton, di mana proses hidrasi semen yang terus berlangsung akan meningkatkan ikatan antar partikel sehingga menghasilkan kekuatan yang lebih besar.

Selain itu, hasil pengujian pada kondisi beton dengan perendaman menunjukkan variasi yang beragam. Pada beberapa campuran, seperti (A1B3) dan (A2B3), nilai kuat geser dalam kondisi direndam tidak jauh berbeda dengan kondisi kering, bahkan cenderung mendekati nilai kuat geser umur 28 hari normal. Hal ini menunjukkan bahwa pada campuran tersebut, struktur pori *foam concrete* relatif lebih stabil terhadap pengaruh air. Namun, pada campuran lain

seperti (A3B2) atau (A2B1), perendaman justru menurunkan nilai kuat geser secara signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh tingginya porositas pada campuran tersebut sehingga air masuk ke dalam rongga beton busa dan melemahkan ikatan internalnya.

Jika ditinjau dari variasi komposisi, kelompok dengan kode B3 secara konsisten menghasilkan nilai kuat geser yang lebih tinggi dibandingkan kelompok B1 maupun B2. Puncaknya terlihat pada kombinasi A3 B3 dengan nilai kuat geser mencapai 13,8 KN, jauh lebih tinggi dibandingkan kombinasi lain yang hanya berkisar 1–7 KN. Hal ini menunjukkan bahwa parameter campuran dengan perendaman memberikan pengaruh paling signifikan terhadap peningkatan kekuatan geser foam concrete.

3.4 Modulus Elastisitas Beton Busa



Gambar 2. Modulus Elastisitas beton busa

Grafik Modulus Elastisitas *Foam concrete* menunjukkan perbandingan nilai modulus elastisitas pada tiga kondisi pengujian, yaitu umur 7 hari, umur 28 hari, dan umur 28 hari setelah perendaman, untuk berbagai variasi campuran (A1B1, A2B1, A3B1, A1B2, A2B2, A3B2, A1B3, A2B3, dan A3B3).

Secara umum, nilai modulus elastisitas cenderung meningkat seiring bertambahnya umur beton. Hal ini terlihat pada sebagian besar sampel, di mana nilai pada umur 28 hari lebih tinggi dibandingkan umur 7 hari. Namun, terdapat variasi tertentu yang menunjukkan anomali, seperti pada sampel A2B1 yang memiliki nilai modulus elastisitas umur 28 hari jauh lebih tinggi dibandingkan umur 7 hari maupun 28 hari setelah direndam.

Selain itu, pada kondisi perendaman 28 hari, nilai modulus elastisitas umumnya mendekati atau sedikit lebih rendah dibandingkan kondisi 28 hari tanpa perendaman. Hal ini mengindikasikan bahwa perendaman dapat mempengaruhi struktur internal foam concrete, sehingga

nilai modulusnya cenderung stabil namun tidak selalu lebih tinggi.

Pola yang konsisten terlihat pada variasi B3 (A1B3, A2B3, A3B3), di mana nilai modulus elastisitas umur 7 hari dan setelah perendaman relatif tinggi dibandingkan kondisi 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi campuran pada variasi B3 mampu menghasilkan kekakuan material yang lebih baik sejak awal hingga setelah proses perendaman.

Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan bahwa perkembangan modulus elastisitas *foam concrete* sangat dipengaruhi oleh umur beton dan kondisi perawatan, dengan variasi campuran tertentu memberikan performa yang lebih optimal dibandingkan yang lain.

4 Kesimpulan

1. Campuran dengan densitas lebih tinggi 1200 kg/m^3 menghasilkan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan campuran dengan densitas rendah yaitu 800 kg/m^3 . Semakin sedikit volume

foam yang digunakan, semakin padat struktur beton busa yang terbentuk, sehingga nilai kuat tekannya meningkat.

2. Agregat dengan butiran lebih kasar menunjukkan kinerja lebih baik dalam meningkatkan kuat tekan. Campuran A2B3 (pasir agak kasar dengan densitas tinggi) memberikan kuat tekan tertinggi, yaitu mendekati 2,0 MPa pada umur 28 hari, sedangkan campuran A3B2 (pasir sangat halus dengan densitas rendah) menunjukkan nilai terendah, yaitu 0,07 MPa.
3. Umur pengujian berpengaruh nyata terhadap peningkatan kuat geser *foam concrete*. Kondisi perendaman memberikan dampak berbeda pada setiap campuran, tergantung tingkat porositas dan kepadatan struktur beton busa. Variasi campuran dengan density 1200 kg/m³ terbukti paling optimal dalam menghasilkan nilai kuat geser tertinggi, sehingga dapat dijadikan rekomendasi pada pengembangan campuran *foam concrete* selanjutnya.
4. Nilai modulus elastisitas *foam concrete* secara umum meningkat seiring bertambahnya umur beton, terutama dari umur 7 hari ke 28 hari. Variasi campuran berpengaruh signifikan terhadap perkembangan modulus elastisitas. Sampel dengan density 1200 kg/m³ cenderung menunjukkan nilai yang lebih tinggi dan stabil dibandingkan variasi lainnya.
5. Kondisi perendaman 28 hari menghasilkan nilai modulus elastisitas yang relatif mendekati atau sedikit lebih rendah dibandingkan kondisi kering pada umur 28 hari. Hal ini menyatakan bahwa perendaman mampu menjaga kestabilan struktur, namun tidak selalu meningkatkan nilai modulus.
6. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa usia beton dan metode perawatan berperan penting

dalam menentukan kekakuan material *foam concrete*, sehingga perlu dipertimbangkan dalam aplikasi struktural maupun non-struktural.

Daftar pustaka

- ACI Committee 211. (1917). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Detroit.
- Amran, Y. H. M., Farzadnia, N., & Ali, A. A. A. (2015). Properties and applications of foamed concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 101(Part 1), 990–1005.
- Enda, D., Dearn, R., Mahrani, D., & Ramdani, M. (2024). Pengaruh penambahan zat adiktif Aditton HE terhadap kuat tekan beton busa. *Seminar Nasional Industri dan Teknologi*.
- Firda, A., Permatasari, R., & Fuad, I. S. (2021). Pemanfaatan limbah batubara (fly ash) sebagai material pengganti agregat kasar pada pembuatan beton ringan. *Jurnal Deformasi*, 6(1), 1–8.
- Hardiyanti, A. D., Abdullah, A., Hayati, Y., & Abbas, I. (2022). Sifat mekanis beton busa dengan serat. *Journal of The Civil Engineering Student*, 4(3), 274–280.
- Haris, T., & Hidayat, R. (2020). Pemanfaatan limbah B3 sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus dalam pembuatan beton. *Engineering: Jurnal Bidang Teknik*, 11(1), 24–33.
- Irianto, D. S., Suparjo, R. R., Yunianta, A. M. T., Franky, E., Fauzi, M., & Sila, A. A. (n.d.). Tohar Media. *(Catatan: perlu judul artikel/jurnal/tahun untuk melengkapi)*.
- Lubis, M., Suryani, A., Kartika, I. A., & Hambali, E. (2019). Pemanfaatan foaming agent dari minyak sawit

- pada beton ringan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 29(3).
- Purwanto, D., Permadi, D. D., & Saputri, U. S. (2023). Analisis uji kuat beton dengan menggunakan limbah styrofoam sebagai pengganti sebagian agregat halus. *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 5(1), 10–17.
- Ramamurthy, K., Nambiar, E. K. K., & Ranjani, G. I. S. (2009). A classification of studies on properties of foam concrete. *Cement and Concrete Composites*, 31(6), 388–396.
- Sabila, G. Z., Bahri, S., & Miswar, K. (2024). Pengaruh penggunaan butiran agregat halus dan volume foam terhadap kuat tekan beton busa. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 7(2).
- Santoso, T. B., & Miftah, M. F. (2023). Pengaruh penambahan foam agent terhadap density, daya serap air, dan kuat tekan mortar. *Jurnal Riset*. (Catatan: perlu volume, nomor, dan halaman untuk melengkapi).
- Siahaan, D. Y., Nusa, A. B., Dirgantara, R., Hanova, Y., & Sari, K. I. (2025). Kajian kuat tekan beton dengan penambahan zat polimer sebagai bahan pengisi agregat terhadap mutu beton K-300 (25 MPa). *AKSIOMA: Jurnal Sains Ekonomi dan Edukasi*, 2(2), 550–568.
- Sukmana, N. C., Masbuchin, E., & Anggarini, U. (2020). Optimasi komposisi pasir, foam agent dan suhu curing pada sintesis beton ringan selular geopolimer dengan pendekatan metode Taguchi. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16(1), 1–11.
- Susilowati, A., & Nabhan, F. (2021). Pengaruh variasi faktor air semen terhadap mortar busa. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, 1(2), 9–15.
- Syahrul, S. (2022). Karakteristik beton ringan menggunakan foam agent (sodium lauryl sulfat) sebagai busa. *Prosiding Semnastek. Teknik Sipil dan Sains*, Vol. 2, No. 1, pp. 32-39.