

Korelasi Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Belah Beton Busa Komposisi Bahan Ramah Lingkungan

Syahrul¹⁾, Amir²⁾

E-MAIL : syahrulsipil@rocketmail.com¹⁾; b277mir@gmail.com²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
Jl. Ir. Juanda 80, Samarinda, 75123, Indonesia

Koresponden naskah : syahrulsipil@rocketmail.com

ABSTRACT

The development of infrastructure in the field of civil engineering is increasing rapidly, including lightweight, sustainable and environmentally friendly construction materials. The innovation developed is the use of foam in concrete compositions weighing <2.0 N/mm² according to SNI 03 3449 2002 so that it is included in the lightweight concrete category. Foam concrete has the same composition of cement, sand and water as mortar, the difference lies in the addition of liquid foam which is added after it becomes mortar. The function of foam is to form cavities in foam concrete structures and reduce the use of sand and cement. The sample parameters are cylindrical with a height of 20 cm and a diameter of 10 cm with a total of 20 pieces. Dry air drying with 3 days 28 days test. Research shows that the test samples has compressive strength and splitting tensile strength value corrected according to the design age of 0.3295, the large foam volume causes the compressive and tensile strength to be lower by 86.92%, and the sample behavior has a brittle stress-strain correlation with the elastic pattern. The presentation of compressive strength and split tensile strength at 28 days is 0.016%.

Keywords – Foam concrete, Cylinder, Compressive strength, Splitting tensile strength

ABSTRAK

Perkembangan infrastruktur di bidang teknik sipil semakin pesat, termasuk material konstruksi yang ringan, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Inovasi yang dikembangkan adalah penggunaan busa pada komposisi beton dengan berat <2,0 N/mm² menurut SNI 03 3449 2002 sehingga termasuk dalam kategori beton ringan. Beton busa mempunyai komposisi semen, pasir dan air yang sama dengan mortar, perbedaannya terletak pada penambahan busa cair yang ditambahkan setelah menjadi mortar. Fungsi busa adalah untuk membentuk rongga pada struktur beton busa dan mengurangi penggunaan pasir dan semen. Parameter sampel berbentuk silinder dengan tinggi 20 cm dan diameter 10 cm dengan jumlah 20 buah. Pengeringan udara kering pada umur 3 hari 28 hari. Penelitian menunjukkan bahwa sampel uji mempunyai nilai koreksi kuat tekan dan kuat tarik belah sesuai dengan umur desain sebesar 0,3295. Volume busa yang besar mengakibatkan kuat tekan dan tarik menjadi lebih rendah sebesar 86,92 %, dan perilaku sampel memiliki korelasi tegangan-regangan getas dengan pola elastis. Presentasi kuat tekan dan kuat tarik belah pada umur 28 hari adalah 0,016 %.

Kata Kunci – Beton busa, Silinder, Kekuatan tekan, Kekuatan tarik belah

1. PENDAHULUAN

Berkembangannya infrastruktur di bidang teknik sipil memberikan pengaruh terhadap eksploitasi bahan alam secara masif, yang tentunya akan berdampak pada lingkungan karena aktifitas galian C, dengan kemajuan serta meningkatnya pembangunan, maka keperluan beton juga meningkat. Umumnya beton memiliki berat 2,4 N/mm² dan dikenal dengan beton normal, kondisi tersebut memberikan dampak terhadap bobot konstruksi yang berat. Pembangunan konstruksi gedung dan jalan terdapat elemen yang penggunaan bahan tidak harus sama dengan elemen utama,

seperti pada gedung komponen balok bisa dibuat menjadi *sandwich* atau *hybrid*, kombinasi beton normal dan beton busa. Demikian juga yang terdapat pada lapis perata atau *land concrete* perkerasan kaku dapat diganti menggunakan beton busa.

Beton busa diklasifikasikan sebagai beton ringan karena memiliki densitas kisaran 400 – 1800 kg/cm³ (Jaini *et al.*, 2023). Jenis beton ringan yang menggunakan busa bertujuan membentuk rongga dan memungkinkan diproduksi dengan berbagai kualitas (Syahrul *et al.*, 2021). Beton busa merupakan beton revolusioner yang tersusun dari

semen, pasir, air, dengan tambahan busa gelembung udara yang mudah dibentuk (Syahrul., 2022). Terdapatnya rongga hingga 80 % pada struktur beton busa dan tentunya akan berpengaruh terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik yang rendah (Gencil *et al.*, 2021). Secara global industri konstruksi dan teknologi beton ringan meningkat (Amran *et al.*, 2015)

Kekuatan tekan merupakan sifat utama dan parameter mekanis dasar dari perencanaan konstruksi beton (Khan *et al.*, 2022). Kekuatan tekan kemampuan elemen konstruksi mendapat gaya desak pada luas permukaan tertentu. Kekuatan tarik belah merupakan nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji silinder dengan mekanisme

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kekuatan tekan beton akan dicapai sangat dipengaruhi jenis komposisi campuran, karakteristik agregat, dan kualitas perawatan sebelum diuji. Kekuatan tekan ditentukan berdasarkan standar laboratorium dengan kecepatan konstan pada umur rencana yaitu 3 hari dan 28 hari. Kekuatan tarik belah memiliki tujuan mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur beton yang menggunakan agregat ringan serta mengetahui kekuatan ikatan semen terhadap *crumb rubber* pada campuran beton.

Peneliti sebelumnya menganalisa mengenai karakteristik beton busa, Liu *et al.*, 2019, menyatakan, densitas, lentur dan kuat tekan beton ringan menurun ketika komposisi busa tinggi. Falliano *et al.*, 2019, menyatakan sifat mikrostruktur yang disebabkan sebaran gelembung udara sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis beton busa. Raj *et al.*, 2019, menyatakan bahwa beton busa meminimal penggunaan bahan, berat yang ringan, dan kekuatan tekan yang dapat direncanakan.

Mekanisme pengujian kekuatan tekan diatur SNI 1974 2011 menggunakan sampel uji silinder yang terbuat di laboratorium ataupun di lapangan, kecepatan pembebanan terukur sebesar 0,15 MPa/menit hingga 0,35 MPa/detik dan selama pengujian kecepatan harus dikontrol hingga sampel uji hancur. Kekuatan tekan benda uji dianalisa dengan membagi beban maksimum terhadap luas permukaan sampel uji. Adapun hasil uji kekuatan tekan sebagai acuan dasar pengendalian mutu dan evaluasi.

Mekanisme kekuatan tarik belah SNI 03-2491- 2002 harus memenuhi ketentuan berupa kecepatan pembebanan sebesar 0,7 hingga 1,4 MPa/menit hingga sampel uji hancur. Pemberian tanda garis tengah pada sisi ujung menggunakan alat bantu serta memastikan kedua garis tengah terletak ada bidang aksial. Letakkan sampel uji

dari hasil pembebanan benda uji yang diletakkan mendarat sejajar dengan permukaan meja penekanan uji desak (SNI 03 2491 2002). Sifat mekanik dinamis beton busa dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti kepadatan, diameter sel, dan laju regangan pembebanan (Feng *et al.*, 2020)

Berdasarkan perkembangan penggunaan bahan beton yang terjadi secara masif dan eksploitasi alam secara luas, menjadi sebuah perhatian guna memenuhi keperluan beton dengan menganalisa karakteristik kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah yang tentunya berdampak pada meminimalkan eksploitasi bahan alam serta keberkelanjutan lingkungan.

diatas bantalan kayu hingga garis tengah tegak lurus di tengah dan bantalan kayu.

A. Kekuatan Tekan

Indikator yang mempengaruhi kuat tekan beton dari proporsi bahan penyusun beton. yaitu faktor air semen, abrasi atau keausan, faktor agregat semen dan faktor luas permukaan agregat. Sebelum dilaksanakan pengujian perlu persiapan berupa sampel uji, timbangan, mesin tekan, alat pelapis (*capping*). Ketentuan tambahan untuk sampel uji silinder. Perhitungan kekuatan tekan beton menggunakan persamaan 1 :

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana; f_c' = kekuatan tekan beton sampel silinder (N/mm² atau MPa); P = gaya tekan aksial (N); A = luas penampang (mm²).

B. Kekuatan Tarik Belah

Parameter karakteristik kekuatan tarik belah merupakan persyaratan dasar dan pengendalian mutu guna mengevaluasi kekuatan beton ringan mengikuti tahapan perawatan kondisi kering udara setelah 28 hari. Desain sampel uji laboratorium sesuai syarat yang ditetapkan SNI 03 4810 1998, sedangkan sampel lapangan merujuk SNI 03 2493 1991, adapun proses perawatan dikondisikan lembab dan tetap dijaga tetap lembab dengan ditutup kain. Perhitungan kekuatan tarik menggunakan persamaan 2 :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi dL} \quad (2)$$

Dimana; f_{ct} = kekuatan tarik belah (N/mm² atau MPa); P = gaya beban (N); L = panjang sampel uji (mm); D = diameter sampel uji (mm).

C. Korelasi Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Belah

Pendekatan yang digunakan untuk mengetahui korelasi parameter uji tekan dan uji

tarik belah dengan metode *curva fitting* dengan persamaan 3 :

$$\sum_{i=1}^3 (aX_i - Y_i \cdot \sqrt{X_i}) = 0 \quad (3)$$

Dimana; X_i = kekuatan tekan beton hingga sampel ke- i ; Y_i = Kuat tarik belah beton hingga sampel ke- i ; a = Faktor korelasi antara kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah.

D. Pengujian Bahan

Pengendalian mutu agregat beton busa diperlukan untuk tujuan pencapaian mutu beton yang di rencanakan, dan tentunya karakteristik bahan menjadi parameter. Beton busa menggunakan agregat berbutir halus dan tidak mengandung kandungan lumpur yang lebih 5 %. Jumlah gumpalan lempung dan partikel rapuh tidak lebih 2 % dari massa kering. Parameter uji bahan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Pengujian Bahan Agregat Halus

Pengujian	Spesifikasi	Metode Pengujian
Analisa Saringan	-	SNI ASTM C136 : 2012
Berat Jenis	Min. 2,50	SNI 03-1970-2008
Penyerapan	Maks, 3%	SNI 03-1970-2008
Berat Isi	1,40	SNI 03-1973-2008
Kadar Air	-	SNI 03-1971-2011
Kadar Lumpur	Maks, 5%	SNI 03-4428-1997

E. Semen

Penggunaan PCC berkontribusi terhadap kekuatan tekan dan kekuatan tarik serta mengurangi rongga pada struktur beton (Susanto *at el.*, 2019). Green Listing Indonesia dari *Green Building*

Council Indonesia menyatakan PCC sebagai semen ramah lingkungan yang ditinjau dari bahan dan proses produksinya (Yanita., 2020). Parameter uji PCC pada Tabel 2 :

Tabel 2. Parameter Pengujian PCC

Pengujian	Satuan	Metode Uji SNI 15-2049-2015	Syarat SNI 15 7064 2014
Komposisi Kimia			
Bagian tak larut	%	Point.7.1.3.1	
Magnesium oksida (MgO)	%	Point.7.1.3.10	Maks, 4,00
Sulfur trioksida (SO ₃)	%	Point.7.1.3.11	
Hilang pijar	%	Point.7.1.3.12	
Total alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	%	Point.7.1.3.13	
Komposisi Fisika			
Kehalusan dengan alat blaine	m ³ /kg	Point.7.2.2.1	Min, 280
Kekerasan pemuaiian dengan autoclave	%	Point.7.2.5	Maks, 0,20
Waktu pengikatan dengan alat vicat			
	Ikatan awal	menit	Point.7.2.4.5
	Ikatan akhir	menit	Point.7.2.4.5
Kekuatan tekan (mortar)			
	3 hari	Kg/cm ²	Point.7.2.6
	7 hari	Kg/cm ²	Point.7.2.6
	28 Hari	Kg/cm ²	Point.7.2.6
Pengikatan semu	%	Point, 7.2.7	Min, 50
Kandungan udara dalam mortar	%	Point, 7.2.10	Maks, 12

Kepadatan	Kg/liter
Berat jenis	

F. Foam Agent

Foam agent merupakan surfaktan sintetis, bagian molekul yang mudah terurai dengan air berdasarkan sifat kelompok hidrofilik. *Foam agent* material berbasis limbah alami dari ekstrak tanin dari industri kulit, serta bahan dasar sabun (Jalal *at*

el., 2017). Perbandingan *foam agent* dan air 1 ; 40 (Kearsley *at el.*, 2001). Adapun mekanisme pembuatan busa, dengan menambahkan air dan diaduk hingga menjadi busa seperti pada Gambar 1 bagian b.



Gambar 1. (A) *Foam Agent*; (B) Busa

G. Admixture

Fungsi *admixture* mengurangi jumlah air dalam produksi pencampuran beton busa, *admixture* yang digunakan yaitu, sikament LN material cair dan sebagai superplastisator untuk

mempercepat pengerasan beton busa dan meningkatkan kecacakan, sesuai ASTM C 494 – 92 Type C. Memiliki warna coklat gelap, berat jenis 1,22+0,01 kg/l.

3. METODE PENELITIAN

Pembuatan beton dilakukan dengan menggabungkan semen dan pasir serta air, selanjutnya menambahkan *foam agent* yang telah menjadi busa hingga campuran merata, pengadukan beton dilakukan selam 5 – 10 menit. Kontrol terhadap beton busa di lakukan dengan perawatan

kering udara dengan menutup permukaan beton dengan lembaran kain. Sebelum dibuat sampel uji, pengujian diawali dengan persiapan dengan meninjau jurnal yang memiliki relevansi terhadap penelitian, mengujian bahan beton busa dengan mengacu standar penelitian, seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Bahan

Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Metode Pengujian
			Agregat Halus
Analisa Saringan	-	-	SNI ASTM C136 : 2012
Berat Jenis	2,40	Min. 2,50	SNI 03-1970-2008
Penyerapan	1,50	Maks, 3%	SNI 03-1970-2008
Berat Isi	1,20	1,40	SNI 03-1973-2008
Kadar Air	1,20	-	SNI 03-1971-2011

Kadar Lumpur	1,05	Maks, 5%	SNI 03-4428-1997
--------------	------	----------	------------------

Semen PCC memiliki kualitas, daya ikat, penyusutan yang kecil, dan ramah lingkungan, yang diproduksi merujuk SNI 15 7064 2014 dan metode

uji SNI 2049 2015, dan memiliki panas hidrasi yang rendah sehingga memudahkan proses pengerjaan. Karakteristik PCC pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik PCC

Pengujian	Satuan	Metode Uji SNI 15-2049-2015	Hasil	Syarat SNI 15 7064 2014
Komposisi Kimia				
Bagian tak larut	%	Point.7.1.3.1	8,10	
Magnesium oksida (MgO)	%	Point.7.1.3.10	0,73	Maks, 4,00
Sulfur trioksida (SO ₃)	%	Point.7.1.3.11	1,90	
Hilang pijar	%	Point.7.1.3.12	4,61	
Total alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	%	Point.7.1.3.13	0,53	
Komposisi Fisika				
Kehalusan dengan alat blaine	m ³ /kg	Point.7.2.2.1	361	Min, 280
Kekerasan pemuai dengan autoclave				Maks, 0,20
Pemuai	%	Point.7.2.5	0,08	Maks, 0,80
Penyusutan	%	Point.7.2.5	0,01	Maks, 0,20
Waktu pengikatan dengan alat vicat				
Ikatan awal	menit	Point.7.2.4.5	135	Min, 45
Ikatan akhir	menit	Point.7.2.4.5	235	Maks, 375
Kekuatan tekan (mortar)				
3 hari	Kg/cm ²	Point.7.2.6	172	Min, 130
7 hari	Kg/cm ²	Point.7.2.6	240	Min, 200
28 Hari	Kg/cm ²	Point.7.2.6	334	Min, 280
Pengikatan semu	%	Point, 7.2.7	73,08	Min, 50
Kandungan udara dalam mortar	%	Point, 7.2.10	9,15	Maks, 12
Kepadatan	Kg/liter		1,10	
Berat jenis			3,08	

Komposisi campuran dengan perbandingan 1 ; 1,20 ; 0,93 (Semen ; Pasir ; Air) dengan faktorair semen 0,3. Perbandingan pelarut air dan *foam agent*

menggunakan 50 mililiter air ; 1 mililiter *foam agent*. Volume keperluan 1m³ pada Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi Beton Busa 1m³

Material	Keperluan 1m ³ Beton Busa
Semen	791 kg
Pasir	1269 kg
Air	237 liter
Foam agent	600 ml
Zat pengeras	1581 ml

Sampel silinder beton busa berdimensi 100 mm x 200 mm, pelaksanaan sekali pengecoran menghasilkan 20 buah sampel uji dengan variabel

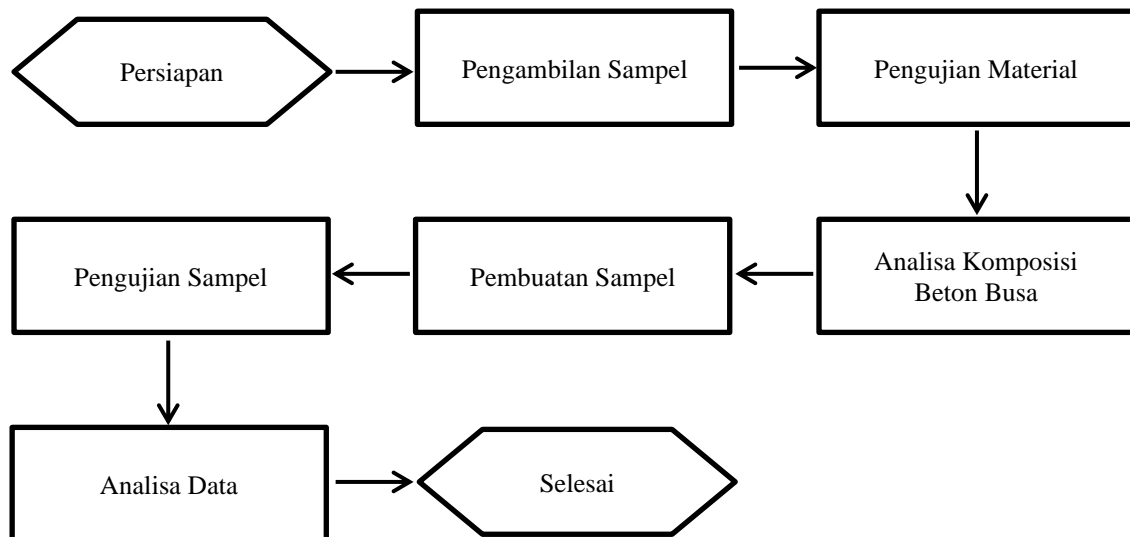
uji kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah untuk 3 hari dan 28 hari pengujian. Jumlah sampel pada Tabel 6.

Tabel 6. Jumlah Sampel Silinder

Bentuk Sampel	Umur	Jumlah Sampel	Parameter Uji
Silinder 100 mm x 200 mm	3	5	Kekuatan Tekan
	28	5	
	3	5	Kekuatan tarik belah
	28	5	

Dalam penelitian akan berproses dengan lancar, tertata, terencana maka digunakan diagram penelitian, tujuan diagram alir memberikan

gambaran terkait tahap penelitian yang memberikan informasi pelaksanaan penelitian. seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel beton busa silinder ukuran 100 mm x 200 mm. Pengujian kekuatan tekan rata-rata pada 3 hari = 5,29 MPa dan 28 hari = 6,59 MPa. Terdapat kenaikan kekuatan tekan sebesar 1,25 MPa atau

19,81 % dari umur 3 hari ke 28 hari. Kontribusi pasta semen terhadap struktur beton busa pada umur 28 hari meningkatkan kekuatan beton. Hasil kekuatan tekan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kekuatan Tekan Beton Busa

Sampel	Kekuatan Tekan (MPa)	Kekuatan Tekan (MPa)
	Umur 3 Hari	Umur 28 Hari
1	5,10	6,40
2	5,34	6,65
3	5,30	6,55
4	5,20	6,72
5	5,50	6,65
Rerata	5,29	6,59

Kekuatan tarik beton busa umur 3 hari = 0,55 MPa dan 28 hari = 0,85. Terjadi kenaikan kekuatan tarik sebesar 1,53 MPa atau 34,99 % dari umur 3 hari ke 28 hari, kondisi kenaikan kekuatan tarik

dipengaruhi pengikatan pasta semen terhadap struktur beton busa. Hasil kekuatan tarik beton dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kekuatan Tarik Belah Beton Busa

Sampel	Kekuatan Tarik (MPa)	Kekuatan Tarik (MPa)
	Umur 3 Hari	Umur 28 Hari
1	0,51	0,78
2	0,57	0,86
3	0,55	0,83
4	0,53	0,89
5	0,59	0,87
Rerata	0,55	0,85

Berat volume beton busa ditinjau dari ukuran cetakan yang digunakan pada pembuatan beton, semakin besar volume sampel beton semakin besar berat sampel tersebut. Dalam pembuatan sampel

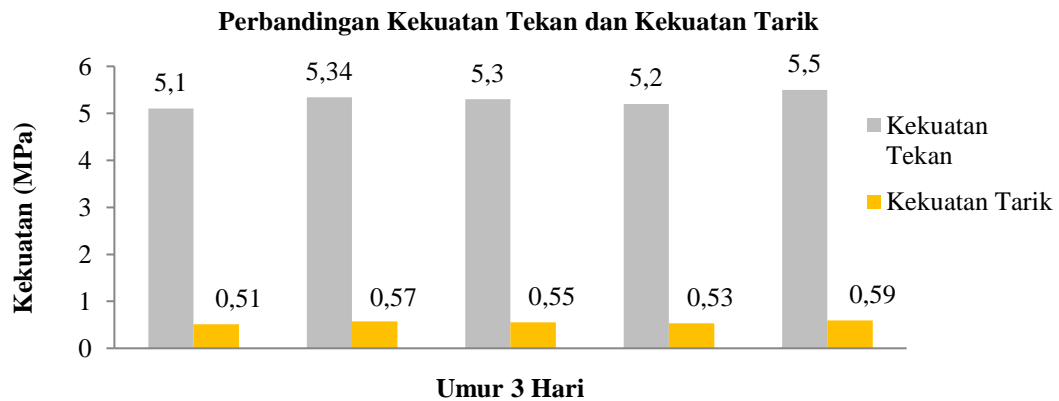
beton, proses penimbangan berat dilakukan guna mendapat informasi berupa berat kondisi beton masih segar dan berat beton setelah padat. Informasi berat beton busa pada Table 9.

Tabel 9. Berat Beton Busa

Sampel	Kekuatan Tekan (MPa)	Berat Kering (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	Kekuatan Tarik (MPa)	Berat Kering (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	Volume (m ³)
Umur 3 Hari							
1	5,10	2,142	1364	0,51	2,136	1360	0,0088
2	5,34	2,168	1380	0,57	2,150	1369	
3	5,30	2,136	1360	0,55	2,126	1353	
4	5,20	2,150	1369	0,53	2,168	1380	
5	5,50	2,126	1353	0,59	2,136	1360	
Rerata	5,29	2,144	1365	0,55	2,143	1364	
Umur 28 Hari							
1	6,40	2,168	1380	0,78	2,150	1369	0,0088
2	6,65	2,136	1360	0,86	2,126	1353	
3	6,55	2,150	1369	0,83	2,136	1360	
4	6,72	2,126	1353	0,89	2,150	1369	
5	6,65	2,168	1380	0,87	2,126	1353	
Rerata	6,59	2,150	1368	0,85	2,138	1361	

Perbandingan kekuatan tekan rerata = 5,29 MPa dan kekuatan tarik rerata = 0,55 MPa. Beton busa pada umur 3 hari terdapat perbedaan kekuatan sebesar 89,60 % atau 4,75 MPa. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik beton yang kuat

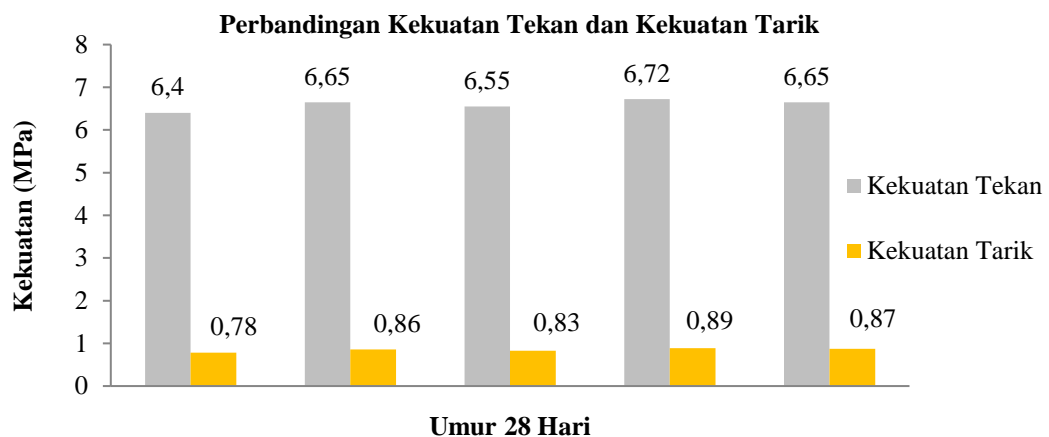
terhadap tekan dan lemah terhadap tarik. Faktor koreksi kekuatan tekan dan kekuatan tarik beton busa umur 3 hari sebesar 0,2392. Hasil perbandingan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik

Perbandingan kekuatan tekan rerata = 6,65 MPa dan kekuatan tarik rerata = 0,87 MPa. Beton busa pada umur 28 hari terdapat perbedaan kekuatan sebesar 86,92 % atau 5,78 MPa. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik beton yang

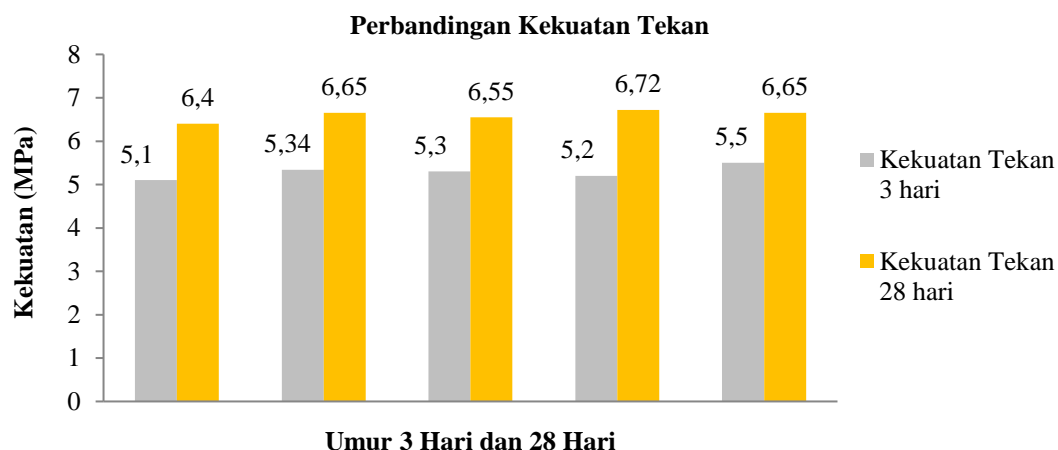
kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik. Faktor koreksi kekuatan tekan dan kekuatan tarik beton busa umur 28 hari sebesar 0,3295. Hasil perbandingan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik

Kekuatan tekan rerata 3 hari = 5,29 MPa dan kekuatan tekan rerata 28 hari = 6,59 MPa, kenaikan kekuatan tekan 19,81 % atau 1,31 MPa. Pengaruh

pengikatan semen terhadap struktur beton busa memberikan peningkatan pada umur 28 hari. Hasil pada Gambar 5.



Gambar 5. Kekuatan Tekan 3 Hari dan 28 hari

5. KESIMPULAN

Hasil korelasi kekuatan tekan dan kekuatan tarik beton busa sebesar 0,016 % untuk kekuatan tekan 28 hari. Kekuatan tekan beton busa umur 3 hari sebesar 5,29 MPa dan 28 hari sebesar 6,59 MPa. Kekuatan tarik belah umur 3 hari sebesar 0,55 MPa dan 28 hari sebesar 0,85 MPa. Berat isi beton busa diperoleh 1363 kg/m^3 atau setara 1.4 N/mm^2 . Beton busa dapat diaplikasikan pada struktur balok berlapis untuk gedung serta pada perkerasan kaku.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil dan lembaga Pendidikan Tinggi Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda-Kalimantan Timur-Indonesia

7. DAFTAR PUSTAKA

- Amran, Y. H. M., Farzadnia, N., Ali, A. A. B., 2015. Properties and Application of Foamed Concrete: a review. *Construction and Building Materials*, 101:990-1005, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.112>
- Falliano, D., Restuccia, L., Ferro, G. A., 2022. Increase the Fracture Energy of Foamed Concrete: Two Possible Solutions. *Procedia Structural Integrity*, 39:229-235, <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.03.092>
- Feng, S., Zhou, Y., Wang, Y., Lei, M., 2020. Eksperimental Research on the Dynamic Mechanical Properties and Damage Characteristics of Lightweight Foamed Concrete Under Impact Loading. *International Journal of Impact Engineering*, (140) 103558, <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2020.103558>
- Gencil, O., Bayraktar, O. Y., Kaplan, G., Benli, A., Barrera, G. M., Brostow, W., Tek, M., Bodur, B., 2021. Characteristics of Hemp Fibre Reinforced Foam Concretes With Fly Ash and Taguchi Optimization. *Construction and Building Materials*, 294:123607, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.12.3607>
- Jaini, Z. M., Rum, R. H. M., Hakim, S. J. S., Mokhtar, S. N., 2023. Application of Foamed Concrete and Cold-Formed Steel Decking as Lightweight Composite Slabs: Experimental Study on Structural Behavior. *International Journal of Integrated Engineering*, Vol 15 (3) 91-103, <https://doi.org/10.30880/ijie.2023.15.02.009>
- Jalal, M. D., Tanveer, A., Jagdeesh, K., Ahmed, F., 2017. Foam Concrete, *International Journal of Civil Engineering Research*, ISSN 2278-3652 Vol 8 (1) 1-14, <https://www.ripublication.com>
- Khan, K., Salami, B. A., Iqbal, M., Amin, M. N., Ahmed, F., Jalal, F. E., 2022. Compressive Strength Estimation of Fly Ash/Slag Based Green Concrete by Deploying Artificial Intelligence Models. *Materials*, (15) 3722, <https://doi.org/10.3390/ma15103722>
- Liu, H., Li, J., Lu, Z., Jiang, J., Li, T., 2019. Effect of Nanoparticles on Foaming Agent and the Foamed Concrete. *Construction and Building Materials*, 227:116698, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.11.6698>
- Raj, A., Sathyan, D., Mini, K. M., 2019. Physical and Functional Characteristics of From

- Concrete: a review. *Construction and Building Materials*, 221:787-799, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052>
- Standar Nasional Indonesia 03 2491 2002., (2002). Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton, Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia 3402 2008., (2008). Cara Uji Berat Isi Beton Ringan Struktural, Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia 2493 2011., (2011). Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium, Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia 1974 2011., (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, Badan Standarisasi Indonesia.
- Susanto, D., Djauhari, Z., Olivia, M., 2019. Karakteristik Beton Menggunakan Portland Composite Cement (PCC) dan Silica Fume Untuk Aplikasi Struktur di Daerah Laut, *Jurnal Rekayasa Sipil*, E-ISSN 2477-3484; ISSN 1858-2133 Vol. 15 (1), <https://doi.org/10.25077/jrs.15.1.1-11.2019>
- Syahrul., Tjaronge, M. W., Djamaluddin, R., Amiruddin, A. A., 2021. Flexural Behavior of Normal and Lightweight Concrete Composite Beams. *Civil Engineering Journal*, E-ISSN: 2476-3055; ISSN: 2676-6957 Vol. 7 (3), <https://dx.doi.org/10.28991/cej.-2021-03091673>
- Syahrul., 2022. Karakteristik Beton Ringan Menggunakan Foam Agent (*Sodium Lauryl Sulfate*) Sebagai Busa. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, e-ISSN: 2460-8416; ISSN: 2407-1846, <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/14670>
- Yanita, R., 2020. Semen PCC Sebagai Material Green Construction dan Kinerja Beton yang Dihasilkan, *Jurnal Sains dan Teknologi*, E-ISSN 2549-9472; P-ISSN 1412-6257 Vol 19 (1) 13-18