

KARAKTERISTIK BETON RINGAN MENGGUNAKAN *FOAM AGENT* (*Sodium Lauryl Sulfate*) SEBAGAI BUSA

Syahrul*

Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda, Jalan Ir. Juanda No. 80, 75124

*Corresponding authors : syahrul@untag-smd.ac.id

Abstrak

Implementasi beton sebagai bahan konstruksi merupakan elemen dominan yang digunakan dan dikembangkan dengan berbagai penelitian yang dirancang untuk mendapatkan beton yang memiliki ketahanan terhadap perubahan konfigurasi akibat gaya kerja dan pengaruh lingkungan, beton ringan umumnya memiliki berat jenis di bawah 2,0 N/mm², penerapan *foam agent* dalam mortar menjadi beton ringan, bertujuan untuk mengurangi berat beton dan memiliki massa yang rendah dengan menggunakan bahan berupa *sodium lauryl sulfate* yang telah diekspansi menjadi busa pada campuran mortar apa adanya. Diketahui bahwa penerapan material konstruksi bermassa rendah akan mengurangi berat struktur yang tentunya akan mempengaruhi konstruksi secara keseluruhan. Sehingga potensi penggunaan material konstruksi bangunan yang ringan dan ramah lingkungan merupakan salah satu upaya untuk mendukung konstruksi dan mendukung program pemerintah dalam meminimalisir eksploitasi material alam. Campuran beton dan karakteristik kuat tekan beton silinder 100 mm x 200 mm dengan kuat tekan rata-rata 5,702 MPa, kuat tarik diperoleh 0,522 MPa, modulus elastisitas 3,823 MPa dan kuat lentur balok 1,232 MPa. Penelitian eksperimental untuk mengetahui karakteristik kekuatan beton ringan berbahan busa mengacu pada Standar Nasional Indonesia

Kata kunci : Berat Isi, Beton Ringan, Mortar, Foam Agent

Abstract

Implementation of concrete as a construction material is the dominant element used and developed with various studies designed to obtain concrete that has resistance to configuration changes due to work forces and environmental influences, lightweight concrete generally has a specific gravity below 2.0 N/mm², application of foam agent in the mortar into lightweight concrete, aims to reduce the weight of the concrete and has a low mass by using a material in the form of sodium lauryl sulfate which has been expanded into foam in the mortar mix as it is. It is known that the application of low mass construction materials will reduce the weight of the structure which will certainly affect the overall construction. So that the potential use of lightweight and environmentally friendly building construction materials is one of the efforts to support construction and support government programs in minimizing the exploitation of natural materials. Mixture of concrete and the characteristics of the compressive strength of cylindrical concrete 100 mm x 200 mm with an average compressive strength of 5.702 MPa, tensile strength obtained 0.522 MPa, modulus of elasticity 3.823 MPa and beam flexural strength 1.232 MPa. Experimental research to determine the strength characteristics of lightweight concrete made from foam refers to the Indonesian National Standard

Keywords : Unit Weight, Lightweight Concrete, Mortar, Foam Agent

PENDAHULUAN

Perkembangan bahan beton sebagai penyusun konstruksi begitu dominan diimplementasikan dan berevolusi ragam penelitian guna mendapatkan beton yang memiliki ketahanan terhadap konfigurasi bentuk akibat momen horizontal,

vertikal, diagonal yang bekerja serta pengaruh lingkungan.

Beton adalah bahan konstruksi komposit, terdiri dari semen (umumnya semen tipe I) dan bahan unsur lainnya seperti abu terbang dan semen terak, agregat (umumnya agregat kasar yang

terbuat dari kerikil atau batu pecah seperti batu kapur, atau granit, ditambah agregat halus seperti pasir), air dan bahan tambahan kimia. Beton digunakan lebih dari bahan buatan manusia lainnya di dunia (Karthikeyan *et al.*, 2015). Ada beberapa cara untuk menghasilkan beton ringan. Salah satu solusinya adalah mengganti agregat tradisional dengan agregat ringan dan penambahan gelembung udara dalam matriks semen, beton khusus ringan disebut beton seluler (Falliano *et al.*, 2020)

Beton busa diinterpretasikan sebagai beton seluler ringan yang bisa dikategorikan menyamai beton ringan (densitas 400-1850 kg/m³) serta rongga udara random yang dibentuk dari campuran bahan busa pada komposisi mortar. Beton berbusa adalah bahan konstruksi revolusioner dan mudah beradaptasi, yang terdiri dari semen dan agregat halus dicampur dengan gelembung udara minimal 20%. Bagian yang ramping dapat dirancang dengan menggunakan balok beton berbusa ini, yang ringan dan dengan kepadatan kurang dari 1800 kg/m³. Beton berbusa adalah bahan berpori ringan yang terbuat dari semen, pasir dan ditampung dengan gelembung udara. Berbeda dari beton normal, beton busa memiliki banyak sifat yang menguntungkan karena masuknya gelembung udara, oleh karena itu, dapat digunakan secara luas di bidang konstruksi bangunan dan aplikasi teknik sipil lainnya. Beton busa bentuk jenis lain beton ringan yang dapat diproduksi serta kualitas yang berbeda-beda (Syahrul *et al.*, 2021)

Seperti semua beton lainnya, beton busa memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah daripada kekuatan tekan, selain itu mereka dapat mengalami penyusutan besar-besaran yang disebabkan oleh sejumlah besar udara yang masuk (Gencel *et al.*, 2021). Oleh karena itu, elemen pembentuk beton ringan khusus ini sederhana, terjangkau dan tersedia: semen, air, pasir halus, busa stabil dan, jika perlu, aditif (Falliano *et al.*, 2020). Kekuatan tekan beton berbusa berkurang secara dramatis dengan pengurangan kepadatannya. Rasio air-semen dan pasir-semen, periode perawatan, distribusi rongga serta tipe bahan pembusa yang diperlukan adalah parameter utama dan berkontribusi terhadap kekuatan mekanik beton berbusa (Yaseen *et al.*, 2017).

Beton busa adalah pasta atau mortar semen Portland yang dikeraskan dengan kepadatan rendah yang mengandung sejumlah besar gelembung udara kecil yang sengaja dimasukkan, yang disebut udara *entrained*. Masuknya udara

untuk produksi beton busa dapat dicapai dengan mencampur bahan pembusa yang sesuai dengan air dalam pencampur khusus. Proses ini menghasilkan busa, yang mana bubuk semen-pasir diumpangkan untuk menghasilkan beton busa (Nassar *et al.*, 2018). Perkembangan dan kemajuan beton busa tidak hanya berat jenis dan berat yang rendah, tetapi rasio kepadatan dengan sifat mekanik yang menunjang guna keperluan struktur (Kramer *et al.*, 2015)

Foam agent terdiri larutan pekat dari bahan surfaktan, jika dipergunakan bahan tersebut harus dicampur air dan diaduk merata. Guna percepatan proses pengeringan dan pengerasan secara sempurna ditambahkan 2%-3% bahan pengeras, penggunaan 1 liter *additive foam agent* ditambahkan 40-80 liter air bersih (normal 60 liter).

Foam agent surfaktan sintesis digolongkan berdasar sifat faksi hidrofilik, yakni komponen partikel yang dapat tercampur dalam air. Anionik, kisaran 70% dari surfaktan yang dipergunakan guna membentuk busa, yakni elemen aktif dari elektron atau partikel subatom negatif. Rendahnya elektron listrik bisa mendistribusikan stabilitas yang tinggi sebagai campuran beton busa. Bahan pembusa yang mengandung protein berbasis enzim yang memiliki 1,03 kg/l digunakan untuk menghasilkan campuran beton.

Peneliti sebelumnya telah mempublikasikan berbagai temuan mengenai karakteristik beton busa, Liu *et al.*, 2019, melaporkan secara umum, densitas, konduktivitas termal, lentur dan kuat tekan beton insulasi termal ringan tiba-tiba menurun ketika kandungan bahan pembusa menjadi semakin banyak yang terutama dikaitkan dengan adanya porositas tinggi pada spesimen dengan penambahan bahan busa oleh dekomposisi bahan busa. Keberadaan penstabil busa memiliki efek positif pada kinerja insulasi panas dan kekuatan mekanik karena perbaikan struktur pori. Selain itu, kekuatan lentur dan tekan spesimen berbusa ditingkatkan melalui penambahan *polypropylene fiber*. Namun, kelebihan serat memiliki efek yang berlawanan pada sifat mekanik karena agregasi *polypropylene fiber* di dalam matriks komposit.

Hou *et al.*, 2019 melaporkan stabilitas busa prefabrikasi akan meningkat ketika bahan pembusa dengan nanopartikel digunakan karena viskositas yang meningkat dan tegangan permukaan yang kurang berubah dengan peningkatan nanopartikel dalam bahan pembusa. Ukuran pori udara yang berkurang dan terdistribusi secara merata diperoleh

Website : jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek

ketika bahan pembusa dengan nanopartikel atau *graphane* dosis rendah digunakan. Namun, peningkatan lebih lanjut *graphane* dalam *foaming agent* akan menghasilkan ukuran pori udara yang lebih besar dan tidak merata. Kandungan nanopartikel yang tepat dalam bahan pembusa akan meningkatkan kekuatan tekan beton berbusa.

Penggunaan material busa pada struktur gedung bertingkat dan rumah tinggal merupakan bagian dari inovasi berkelanjutan berbasis material ramah lingkungan. Penggunaan material beton busa sebagai dinding dapat mengurangi beban yang dipikul oleh elemen struktur untuk mengurangi dimensi balok, kolom, dan pondasi yang berimplikasi pada pengurangan penggunaan material beton.

METODE

Kaidah pada investigasi berupa penelitian skala laboratorium tentang karakteristik kekuatan beton ringan menggunakan *foam agent* (*sodium lauryl sulfate*) sebagai bahan pengembang atau busa, serta penguas beton ringan superplastisizer (*sodium naphthalene formaldehyde*) yang selanjutnya dilakukan pemeriksaan material bahan campuran. Pemeriksaan laboratorium guna mengetahui sifat dasar material beton (Syahrul., 2022). *Sodium lauryl sulfate* telah dipergunakan

dalam produksi *gypsum* berbusa dengan konsentrasi 0,1 sampai 0,4 % dengan kepadatan 1.000 kg/m³ (Ranjani *et al.*, 2010). Bahan kimia tersebut disintesis dengan mereaksikan *lauryl* alkohol dari sumber minyak bumi atau tanaman dengan *sulfur trioksida* guna menghasilkan *hydrogen lauryl sulfate*, yang selanjutnya dinetralkan dengan natrium karbonat guna menghasilkan *sodium lauryl sulfate* (Bondi *et al.*, 2015).

Sebelum membuat sampel dilakukan analisis komposisi bahan dengan perbandingan volume 1 : 2, perancangan campuran beton ringan dilakukan pemeriksaan berat jenis dan berat, penambahan busa dengan meninjau berat semen dikalikan dua, sehingga diketahui jumlahnya. Sampel dibuat dan dicetak pada silinder berukuran 100 mm x 200 mm untuk perawatan permukaan beton yang dilapisi kain dan disiram permukaannya dengan air dan diuji pada umur 28 hari.

Pemeriksaan bahan di laboratorium dilakukan guna mengetahui sifat dasar bahan dan karakteristiknya memiliki pengaruh penting pada kinerja beton segar dan beton yang mengeras, seperti ukuran partikel, bentuk, dan gradasi (Yan *et al.*, 2020).

Pengujian karakteristik fisik agregat halus ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian agregat halus

Parameter Uji	Hasil	Spesifikasi	Standar Uji
			Agregat Halus
Analisa Saringan	-	-	SNI ASTM C136 : 2012
Berat Jenis	2,50	Min. 2,50	SNI 03-1970-2008
Penyerapan	1,70	Maks, 3%	SNI 03-1970-2008
Berat Isi	1,22	1,40	SNI 03-1973-2008
Kadar Air	1,26	-	SNI 03-1971-2011
Kadar Lumpur	1,05	Maks, 5%	SNI 03-4428-1997

Slump test dilakukan untuk melihat workabilitas beton segar menurut ASTM C1437-15. *Workability* beton busa dapat dievaluasi secara visual dengan memeriksa viskositas. Uji kemampuan kerja slump yang umum digunakan tidak cocok untuk beton busa densitas rendah. Disarankan metode daya sebar untuk beton ringan untuk menemukan kemampuan kerja (Raj *et al.*, 2019).

Proses pencampuran, bahan dasar semen, pasir, air, *foam agent*, dan *admixture*, dengan prosedur pembuatan beton ringan berupa :

- a. Penyiapan alat dan bahan yang dipergunakan
- b. Semen dan pasir disiapkan sesuai komposisi yang direncanakan dengan campuran perbandingan 1 : 2.
- c. Tuang pasir dan semen ke dalam (molen) dan aduk selama 5 menit agar tercampur merata, tuang air ke dalam (molen) sesuai dengan perencanaan, dan diaduk hingga merata.
- d. Timbang 1 liter adonan sebelum ditambah *foam agent* sampai kisaran 1700 sampai 2200 gr semakin ringan adonan kekerasannya kurang bagus. Untuk penggunaan cairan *foam agent* pada campuran beton ringan $1 \text{ m}^3 = 600 \text{ ml}$ cairan *foam agent* menggunakan air sebanyak 30 liter.
- e. Siapkan 30 % *foam agent* dari berat adonan yang diperoleh pada point (huruf d) dan lakukan pembuatan busa beton dengan mengaduk *foam agent* yang telah dicampur air dengan perbandingan 1 : 40, lalu aduk menggunakan *propeller* selama 6 - 10 menit hingga membentuk gelembung busa dan mengembang kaku (pengerjaan pembuatan busa beton terpisah)
- f. Tuang busa *foam agent* yang telah mengembang ke wadah adukan campuran yang telah merata, dan di aduk hingga beton merata dengan busa beton.
- g. Tambahkan *admixture* ke wadah adukan dan di aduk, komposisi pengeras (satuan gram) 2 x berat semen.
- h. Timbang 1 liter adonan setelah ditambah dengan *foam agent*, untuk mengetahui berat kisaran 900 sampai 950 gr. Dan pengujian *slump* beton ringan.
- j. Masukkan beton ringan komposisi *foam agent* ke dalam cetakan hingga mengeras selama 24 jam.

- k. Lepas cetakan beton ringan, dan lakukan perawatan kering udara.

Pengujian kekuatan tekan pada suhu 25°C atau suhu kamar. Jumlah sampel kuat tekan berjumlah 10 silinder (5 silinder kuat tekan umur 28 hari, 5 silinder kekuatan tarik umur 28 hari), 5 balok pengujian lentur untuk 28 hari. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine (UTM) lengkap dengan data logger dan *Longitudinal Variable Displacement Transducer* (LVDT). pengujian kekuatan tekan yakni memberikan beban monoton secara berkesinambungan dengan kecepatan konstan pada sampel di antara dua batang pembebanan yang akan menghasilkan tegangan tekan pada sampel yang diberi beban. Laju pemuatan adalah $1,0 \pm 0,5 \text{ kN/s}$ untuk menghindari perkiraan kekuatan yang berlebihan yang disebabkan oleh kecepatan pemuatan yang tinggi (Cong *et al.*, 2022). Kekuatan tekan dipengaruhi volume rongga dalam beton serta sejumlah fungsi (Kearsley *et al.*, 2002)

Kuat tekan bebas uji silinder menggunakan formula 1.

$$\sigma_s = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (1)$$

Keterangan :

- σ_s = kuat tekan bebas silinder uji (MPa)
P = beban maksimal (N)
d = diameter silinder uji (mm)

Pengujian sampel kekuatan tekan silinder dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Kekuatan tekan

Modulus elastisitas berupa rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Modulus elastisitas sangat dipengaruhi umur beton, bahan penyusun beton, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran sampel. Modulus elastisitas beton adalah Angka tegangan dibagi regangan beton dalam kondisi elastis dimana tegangan mencapai 40 % dari kuat tekan maksimum. Modulus elastisitas dikaitkan dengan kepadatan beton, ketika kepadatan kering beton kisaran 500 dan 1600 kg/m³, modulus elastisitas turun kisaran 1,0 dan 12 kN/m², Angka-E dari beton ringan berbahan busa adalah empat kali lebih rendah dari beton normal. Secara umum, modulus elastisitas statis beton ringan berbahan busa meningkat dengan kuat tekan beton busa meningkat. (Dawood *et al.*, 2018).

Angka modulus elastisitas dihasilkan dari formula 2 dan 3.

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (2)$$

atau

$$E_c = \frac{4 P_t}{\pi d^2 \cdot \Delta v} \quad (3)$$

Keterangan :

- E_c = modulus elastis beton (MPa)
- σ_2 = tegangan pada 40% dari beban maksimal (MPa)
- σ_1 = kekuatan tekan pada saat regangan longitudinal mencapai 0,00005 (MPa)
- ε_2 = regangan yang terjadi saat σ_2 (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- Δv = perubahan perpindahan vertikal (mm)
- t = tinggi sampel silinder (mm)
- d = diameter sampel silinder (mm)

Tarik belah beton bertujuan menilai ketahanan geser dari elemen konstruksi yang terbentuk dari beton dengan komposisi agregat ringan dan angka kuat tarik tidak langsung dari sampel beton berbentuk silinder didapat dari hasil pembebanan sampel yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan. Kekuatan tarik belah memiliki nilai lebih tinggi dari nilai kekuatan tarik langsung dan lebih rendah dari nilai kekuatan lentur (Suchorzewski *et al.*, 2022)

Kekuatan tarik belah sampel menggunakan formula 4.

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi ld} \quad (4)$$

Keterangan :

- f_{ct} = kekuatan tarik belah (MPa)
- P = beban maksimum (N)
- l = panjang silinder (mm)
- d = diameter silinder (mm)

Pengujian kekuatan tarik belah ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kekuatan tarik belah

Kekuatan lentur, kapasitas balok beton yang ditempatkan pada dua tumpuan guna menahan momen dengan arah tegak lurus sumbu sampel, dan sampel diuji hingga mengalami keruntuhan atau patah, dan dinyatakan dalam *Mega Pascal* (MPa) gaya persatuan luas. kekuatan lentur dan tarik beton berbahan busa berkisar antara 15% dan 35% dari kuat tekannya (Amran *et al.*, 2015)

Tahap investigasi secara umum pada penelitian dibuat alur kerja dari atas ke bawah, dan pergerakan dibentuk dengan pola tahapan penelitian dengan penjelasan proses urutan kegiatan.



Gambar 3. Tahapan alur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel uji yang digunakan pada percobaan, berupa sampel uji silinder. Nilai kekuatan tekan beton ringan umur 28 hari, dimensi silinder beton 100 x 200 mm diperoleh rata-rata sebesar 5,702 MPa. *Curing* beton adalah menutupi permukaan beton dengan karung basah atau lembab, bertujuan guna kinerja proses hidrasi beton bereaksi secara berkelanjutan.

Nilai kekuatan tekan beton ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kekuatan tekan beton silinder

Sample	Berat Jenis (kg/m ³)	Berat (kg)	Kekuatan Tekan	
			Beban	MPa
1	1365	2,142	43,66	5,559
2	1380	2,168	44,48	5,664
3	1360	2,136	45,96	5,851
4	1369	2,150	44,73	5,695
5	1353	2,126	45,10	5,742

Nilai kekuatan tarik beton ringan umur 28 hari, adapun dimensi silinder beton 100 mm x 200 mm diperoleh rata-rata 0,522 MPa.

Nilai kekuatan tarik beton ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kekuatan tarik beton silinder

Sample	Berat Jenis (kg/m ³)	Berat (kg)	Kekuatan Tarik	
			Beban	MPa
1	1357	2,132	19,33	0,615
2	1350	2,120	12,80	0,407
3	1336	2,098	12,69	0,404
4	1341	2,106	15,77	0,502
5	1350	2,120	21,50	0,684

Nilai modulus elastis beton ringan umur 28 hari, adapun dimensi silinder beton 100 x 200 mm diperoleh 3,823 MPa.

Nilai kekuatan lentur balok beton ringan 28 hari, adapun dimensi balok beton 100 x 100 x 400 mm diperoleh rata-rata 1,232 MPa.

Nilai kekuatan lentur balok beton ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kekuatan lentur balok beton

Sample	Berat Jenis (kg/m ³)	Berat (kg)	Kekuatan Lentur	
			Beban	MPa
1	1590	6,358	3,42	1,368
2	1591	6,362	3,38	1,352
3	1557	6,228	2,66	1,065
4	1408	5,632	2,66	1,065
5	1434	5,736	3,28	1,311

KESIMPULAN

Penggunaan *foam agent* sebagai busa menghasilkan beton dengan berat jenis rata-rata 1355 kg/m³, sehingga memiliki kategori sebagai beton ringan. Berat jenis beton berkurang sebesar 43 % dari berat jenis beton normal. Kekuatan tekan beton sebesar 5,702 MPa. Selain itu, beton dengan kandungan busa diestimasi menjadi solusi ekonomis dalam fabrikasi beton dan komponen beton ringan dengan volume yang banyak seperti elemen struktur, dinding penyekat, elemen pengisian, *land concrete* perkerasan kaku dan timbunan jalan karena proses produksinya yang mudah dari pabrik hingga selesai. Produksi beton ringan yang stabil dipengaruhi sejumlah faktor, yakni jenis bahan busa, pola atau cara penyiapan bahan busa untuk memulai distribusi rongga udara (gelembung) yang seragam atau merata.

SARAN

Kemajuan dan perkembangan teknologi serta penggunaan *foam agent* sebagai bahan beton memberikan alternatif guna memproduksi dan menghasilkan beton ringan yang berkelanjutan serta berbasis material ramah lingkungan. Sehingga mendukung program pemerintah dalam meminimalisir eksploitasi bahan alam dan kerusakan lingkungan. Untuk menghasilkan beton berbuisa dengan konsistensi dan stabilitas yang tinggi, disarankan untuk mengurangi volume bahan busa, dan memodifikasi dengan menggunakan penggantian sebagian semen dengan abu terbang, abu sekam padi, pasir silika, dan agregat ringan sejenis *fumice*, yang berguna mengurangi proses panas hidrasi beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada seluruh rekan kerja dan praktisi Program Studi Teknik Sipil dan instansi Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda.

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>

Bondi, C. A. M., Marks, J. L., Wroblewski, L. B., Raatikainen, H. S., Lenox, S. R., Gebhardt,

K. E., 2015. Human and environmental toxicity of sodium lauryl sulfate (SLS): Evidence for safe use in household cleaning products. *Environmental Health Insights*, 9:27-32 <https://dx.doi.org/10.4137/EHI.S31765>

Dawood, E. T., Mohammad, Y. Z., Abbas, W. A., Mannan, M. A., 2018. Toughness, elasticity and physical properties for the evaluation of foamed concrete reinforced with hybrid fibers. *Heliyon*, 4:e01103 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e01103>

Cong, X., Qiu, T., Xu, J., Liu, X., Wang, L., Wang, Y., Chen, C., Zhao, L., Xing, C., Tan, Y., 2022. Study on the effectiveness of fibre reinforcement on the engineering performance of foamed concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 16:e01015 <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01015>

Falliano, D., Restuccia, L., Ferro, G. A., Gugliandolo, E., 2020. Strategies to increase the compressive strength of ultra-lightweight foamed concrete. *Procedia Structural Integrity*, 28:1673-1678 <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.10.141>

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>

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.2021.123607>

Karthikeyan, B., Selvaraj, R., Saravanan, S., 2015. Mechanical properties of foam concrete. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, ISSN 0974-5904, Volume 08, No. 02, pp. 115-119 <https://www.cafetinnova.org>

Kearsley, E. P., Wainwright, P.J., 2002. The effect porosity on the strength foam

- concrete. *Cement and Concrete Research*, 32: 233-239
- Kramer, C., Schauerte, M., Kowald, T. L., Trettin, R. H. F., 2015. Three phase foams for foam concrete application. *Material Characterization*, 102: 173-179 <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.03.004>
- 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.2019.116698>
- Liu, T., Shi, G., Li, G., Wang, Z., 2019. Lightweight foamed concrete with foam agent addition. *Material Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/490/3/032033>
- Nassar, R. U. D., Memon, S. A., 2018. Characteristics of foam concrete produced from detergent used as foaming agent. *International Journal of Applied Engineering Research*, ISSN 0973-4562, Volume 13, Number 20, pp. 14806-14812 <https://www.ripublication.com>
- Raj, A., Sathyan, D., Mini, K. M., 2019. Physical and functional characteristics of foam concrete: a review. *Construction and Building Materials*, 221:787-799 <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.052>
- Ranjani, G. I. S., Ramamurthy, K., 2010. Analysis of the foam generated using surfactant sodium lauryl sulfate. *International Journal of Concrete Structure and Material*, Vol. 6 No. 1 pp 55-62 <https://dx.doi.org/10.4334/IJCSM.2010.4.1.055>
- Syahrul., 2022. Kinerja beton mengandung agregat kasar daur ulang limbah bongkahan beton. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret*, ISSN: 2579-7999 Vol. 6 No. 1 <https://dx.doi.org/10.20961/jrrs.v6i1.63206>
- 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, No. 03 <https://dx.doi.org/10.28991/cej.-2021-03091673>
- Suchorzewski, J., Nikta, M., 2022. Size effect at aggregate level in microCT scans and DEM simulation-splitting tensile test of concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, 264:108357 <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2022.108357>
- Yan W., Cui W., and Qi L. (2020). Effect of aggregate gradation and mortar rheology on static segregation of self-compaction concrete. *Construction and Building Materials*, 259:119816, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119816>.
- Yaseen, Z. M., Deo, R. C., Hilal, A., Abd, A. M., Bueno, L. C., Sanz, S. S., Nehdi, M. L., 2017. Predicting compressive strength of lightweight foamed concrete using extreme learning machine model. *Advances in Engineering Softwear*, <https://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.09.004>