



## Karakteristik tekan, bending dan *morphology* komposit mortar ringan diperkuat serat limbah tekstil

*The compressive strength, bending and morphology characteristics of light mortar composites reinforced textile waste fibers*

N.H. Sari\*, S. Suteja, A.D. Catur, D.P. Jaya

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 081916007255

\*E-mail: n.herlinasari@unram.ac.id

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History:

Received 24 November 2022

Accepted 28 February 2023

Available online 01 April 2023

#### Keywords:

Mortar composite

Textile waste

Compressive strength

Flexural strength

SEM



The composites was made from a foam mortar matrix with Hydrolized protein reinforced textile waste fiber and the compressive strength, flexural strength and fracture morphology characteristics of the composite have been reported. This study investigated the effectiveness of adding textile fiber waste to lightweight mortar composites to improve the mechanical characteristics of the composites, reduce weight and minimize production costs of mortar composites. Mortar composites are fabricated by varying the volume fraction of textile waste fiber from 0 to 1.2% (of the composite density). The results revealed that the addition of textile waste fiber to the mortar composites decreased bending strength and bending modulus. The maximum compressive strength of the mortar composite was obtained at a volume fraction of 0.6% textile fiber waste (0.30167 MPa) and the lowest compressive strength of 0.149 MPa was owned by the mortar composite without textile fiber waste (composite BTA). This phenomenon caused by the fiber pull out, interface bond between textile waste fiber and matrix, as shown from the SEM photo. The addition of excess textile fiber waste from optimal conditions reduces mechanical performance due to increased voids in the mortar composite. However, this strategy helpful to reduce the weight of the concrete, reduce production costs and reduce textile waste.

*Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 13, No. 1, April 2023, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

## 1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi manusia terus meningkat secara eksponensial pada skala global dalam beberapa dekade terakhir ini. Peningkatan ini disebabkan oleh migrasi yang masyarakat yang merupakan produk dari perubahan sosial serta oleh beragam skenario politik dan ekonomi. Tren ini diperkirakan akan terus tumbuh dalam beberapa dekade berikutnya (Echeverria dkk., 2018) dari populasi dunia saat ini sebesar 7,6 miliar menjadi sekitar 9,8 miliar pada tahun 2050 (United Nations, 2017; Echeverria dkk., 2018) dan terjadi pemusatan

permukiman masyarakat 70% populasi di perkotaan besar. Dilain hal pembangunan tempat tinggal juga terus meningkat terutama kebutuhan akan bahan beton. Beton sejauh ini merupakan bahan bangunan yang paling umum digunakan untuk aplikasi sipil dan militer karena stabilitas dan daya tahan mekanisnya. Namun, dalam produksinya memiliki dampak negatif bagi lingkungan karena sejumlah besar CO<sub>2</sub> (sekitar 6% dari total emisi CO<sub>2</sub> global) dihasilkan dan dilepaskan dalam produksi 56 semen Portland. Karena struktur beton dapat memburuk melalui beberapa rute (seperti, penyusutan, serangan klorida, dan serangan sulfat), daya tahannya cenderung menurun seiring waktu (Nautiyal dkk., 2015). Selain itu, biaya pemeliharaan, perlindungan, perbaikan, dan rehabilitasi struktur beton yang ada tidak dapat diabaikan. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa solusi telah disarankan. Seperti untuk meningkatkan struktur mekanik dan sifat durabilitas selama proses pembuatan beton (Jia dkk., 2017). Cara lainnya adalah dengan mengurangi konsumsi semen Portland dalam prosesnya. Kedua konsep ini dapat direalisasikan masing-masing dengan mengoptimalkan densitas pengepakan partikel beton dan dengan mengganti sebagian semen Portland dengan pozzolan alami dan/atau produk samping industri pozzolan seperti *ground granulated blast furnace slag* (GGBFS), serat alam/sintesis (Purnowidodo dkk., 2020) *fly ash*, atau silika.

Produksi pada sektor serat saat ini seperti baja, serat kaca ataupun polimer terus meningkat dalam beberapa dekade terakhir dan semakin diminati dengan penggunaan serat berkelanjutan (Sari dkk., 2022). Terutama yang dihasilkan dari sumber daya terbarukan, dapat terurai secara alami, tersedia dengan mudah dan berbiaya rendah (Sari dan Suteja, 2022) menjadi fokus dalam pengembangan material. Serat limbah tekstil bisa menjadi alternatif yang berkelanjutan (Ütebay dkk., 2020) untuk penguatan komposit mortar, dan telah digunakan sebagai penguat material semen untuk aplikasi struktural performa rendah sampai menengah. Penambahan serat tekstil ke beton sebagai penguat dan untuk meringankan beton serta mengurangi biaya produksi sangat efisien dalam memperkuat stabilitas produk beton (Ferrara dkk., 2020). Serat tekstil merupakan produk komoditas bagian dari barang fundamental yang akan terus dibutuhkan masyarakat, dalam jumlah besar untuk berbagai aplikasi. Industri manufaktur tekstil saat ini melibatkan ekstraktif primer, yang sangat bergantung pada ketersediaan sumber daya alam, yang berada pada tahap ketersediaan kritis (Tran dkk., 2019).

Penguat berupa limbah tekstil pada komposit mortar telah dilaporkan oleh beberapa author. Echeverria dkk. (2018) telah meneliti pengembangan dari serat tekstil sebagai penguat material komposit semen untuk aplikasi bangunan. Mereka menggunakan limbah serat kayu halus sebagai pengisi sekunder komposit semen. Selanjutnya mereka juga menambahkan limbah tekstil polipropilen terfibrilasi sebagai fase matriks termoplastik untuk mengoptimalkan adhesi antar muka pengisi/matriks dengan zat pengikat polipropilena-anhidrida maleat sebanyak 6% berat. Hasil investigasi pada sifat mekanik material komposit, adhesi antarmuka, penyerapan kelembaban, ketahanan api, kekasaran permukaan dan karakteristik mikrostruktur menunjukkan rangkaian TFRC inovatif menghadirkan kinerja optimal untuk ketahanan kelembaban. Sangat mendukung untuk aplikasi bantalan beban dan tanpa beban, dibandingkan dengan papan partikel berbasis kayu standar. Performa tertinggi untuk kekuatan mekanik (34,9 MPa) dan penyerapan kelembaban rendah (2,4 %) dicapai oleh spesimen yang diformulasikan dengan fasa matriks tekstil polipropilena sebesar 40% berat. Sedangkan pengisi sekunder kayu halus menghasilkan ketahanan api tertinggi dari prototipe komposit semen. Penambahan *carbon fibre reinforced polymer* (CFRP) dan *glass fibre reinforced polymer* (GFRP) mampu meningkatkan kekuatan kapasitas pembebanan, baik dalam mengurangi lebar retak, perambatan retak dan menurunkan defleksi balok beton ringan busa polystyrene (Montaser dkk., 2022).

*Foam agent* merupakan larutan yang pekat turunan dari bahan surfaktan yang dilarutkan dengan air yang merupakan larutan koloid. Pre foam awal dengan kondisi basa terbentuk ketika diberikan tekanan dengan menggunakan foam generator. Oleh karena itu proses isi lebih cocok, murah dan mudah untuk digunakan pada produksi mortar yang berbasa. Matrik mortar pada penelitian ini ditambahkan *agent foam* untuk mengurangi berat beton dan volume matrik mortar yang dihasilkan lebih besar. Selanjutnya, metode pembuatan busa matrik beton ini berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya (Montaser dkk., 2022) dengan penguat limbah serat tekstil sehingga menurunkan biaya produksi akan tetapi memiliki kekuatan mekanik yang tinggi. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi karakteristik kekuatan tekan, bending dan *morphology* patahan komposit mortar yang diperkuat dengan limbah serat tekstil.

## 2. METODE PENELITIAN

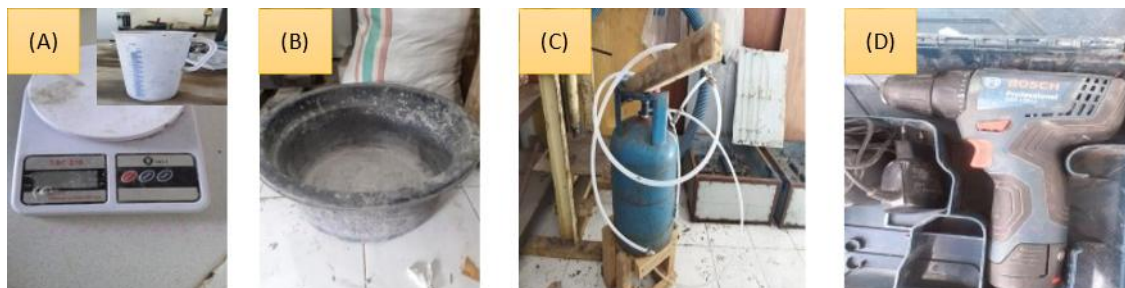
### 2.1 Material pembuatan komposit mortar

Portland semen merk Tiga Roda (gambar 1a) yang diperoleh dari PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk., Citeureup, Jawa Barat. Dengan warna abu-abu terbuat dari CaCO<sub>3</sub>, Pasir Limestone <2,0 mm dan aditif kimia, memiliki kuat rekat tarik dan kekuatan tekan masing-masing sebesar >0,2 N/mm<sup>2</sup> (di atas bata ringan) dan >4 N/mm<sup>2</sup>. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari sungai mataram (dusun Kekalik, Sekarbela, Mataram) dengan ukuran ± 0,6 mm (lihat gambar 1b). Gambar 1c merupakan bahan yang digunakan untuk mempermudah terbentuknya busa pada campuran mortar. Dan gambar 1d dan e merupakan limbah tekstil/pakain

dan serat limbah tekstil sebagai penguat mortar yang terbuat dari 30.7 % polyester dan 69.3% cotton serta gambar 1f adalah air untuk melarutkan campuran mortar.



Gambar 1. Bahan-bahan pembuatan komposit mortar ringan.



Gambar 2. Alat-alat untuk pembuatan mortar komposit ringan; (a) timbangan, (b) baskom plastik, (c) reaktor untuk membuat busa, (d) mixer.

### 2.2 Pembuatan busa (komposit ringan)

Semen dan pasir dicampur terlebih dahulu dengan perbandingan 1:1 dicampur secara manual di dalam baskom dengan volume air 50% dari semen dan pasir. Dilain hal, foam dan air dicampur dengan perbandingan 1:50 L dimixer selama 5 menit dan kemudian di tuangkan ke dalam reaktor. Selanjutnya, udara bertekanan dari kompresor digunakan untuk menaikkan campuran foam dan air ke dalam alat pembuat busa. Busa yang dihasilkan kemudian dicampur dengan serat tekstil (0, 0,6% dan 1,2%), adonan pasir dan semen menggunakan mixer sampai didapatkan berat jenis 1500 g/L. Terakhir, adonan dituang ke dalam cetakan bending dan tekan dengan dikeringkan di dalam temperatur ruangan selama 5 hari untuk dilakukan pengujian.



Gambar 3. (a) Pipa alat pembuat busa, (b) Kompresor, (c) Cetakan uji bending, (d) Cetakan uji tekan.

### 2.3 Karakterisasi

Pengujian tekan komposit mortar berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 15 cm diuji dengan menggunakan *Compression Testing Machine*. Pengujian tekan ini mengacu pada UNE-EN 196-1 (Sadrolodabae dkk., 2021). Kekuatan tekan komposit mortar dihitung dengan menggunakan persamaan 1 berikut.

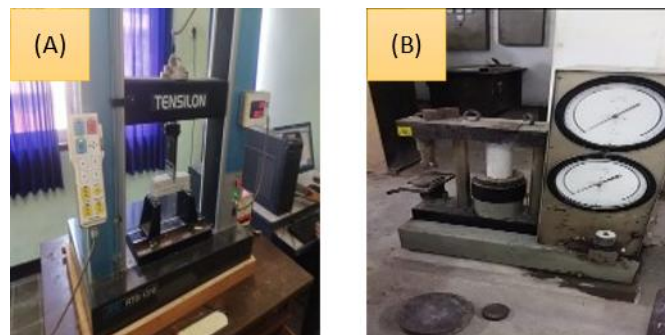
$$\sigma_t = \frac{P_{\max}}{A} \quad (1)$$

Spesimen balok dengan panjang 100 mm diuji three point bending menggunakan alat uji tensilon RTG-1310 dengan metode three poin bending. Pengujian dikontrol dengan sistem loop tertutup dan laju pembebanan 5 mm/menit dengan sel beban berkapasitas sebesar 3 KN. Dalam pengujian bending ini didapat data kekuatan dan modulus bending komposit mortar dengan dihitung menggunakan persamaan 2 dan 3 berikut.

$$\sigma_b = \frac{3P_{\max}L}{2bh^2} \quad (2)$$

Dan

$$E_b = \frac{L^3m}{4bd^3} \quad (3)$$



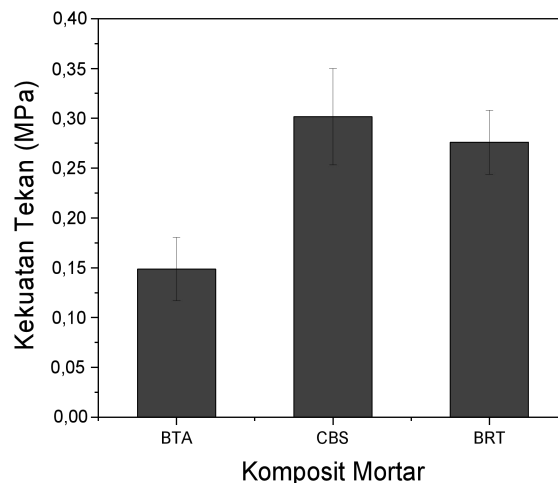
Gambar 4. (a) Alat uji bending, (b) Alat uji tekan.

*Morphology* kegagalan pada struktur mikro permukaan retak komposit mortar dianalisis dengan SEM. Pengamatan mikroskop elektron scanning dilakukan dengan menggunakan perangkat Jeol JSM 5610 SEM dengan dijalankan pada tegangan dan arus masing-masing pada 13 kV dan 8 mA.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Kekuatan tekan

Adanya serat tekstil di dalam komposit mortar meningkatkan kekuatan tekan (lihat gambar 5) dibandingkan dengan komposit mortar tanpa serat tekstil. Kekuatan komposit mortar tertinggi dimiliki oleh komposit mortar CBS (0,6% berat) dengan nilai kekuatan tekan sebesar 0,30167 MPa atau mengalami peningkatan sebesar 102,91% dari komposit mortar BTA (0% serat tekstil). Selanjutnya, kekuatan tekan komposit mortar BRT mengalami penurunan dari komposit CBS akan tetapi masih lebih tinggi dari komposit mortar BTA.



Gambar 5. Kekuatan tekan komposit mortar diperkuat serat limbah tekstil.

Hasil pengujian tekan ini sejalan dengan laporan dari Sadrolodabae dkk., (2021) yang telah meneliti pengaruh konsentrasi fraksi volume serat tekstil dan serat cotton dengan masing-masing fraksi volume 6%, 8% dan 10%. Hasil mereka menunjukkan bahwa kekuatan tekan komposit mortar mengalami penurunan dari 85,8 N/mm<sup>2</sup> menjadi 43,2 N/mm<sup>2</sup> untuk penguat serat limbah tekstil. Sedangkan untuk penguat serat cotton kekuatan tekan menurun dari 82,2 N/mm<sup>2</sup> menjadi 33,9 N/mm<sup>2</sup>. Penurunan kekuatan tekan komposit mortar ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa peningkatan kandungan serat menginduksi lebih banyak rongga yang meringankan dan melemahkan material akibat kurang mampunya matrik untuk mengikat serat tekstil (Sari dkk., 2022a).

Studi sebelumnya juga menunjukkan efek negatif serupa untuk bahan semen yang diperkuat dengan serat alami lainnya dengan panjang kurang dari 2 mm (Booya dkk., 2018; Booya dkk., 2019). Pengurangan kekuatan tekan juga dapat dikaitkan dengan kemacetan atau balling dari serat yang melemahkan ikatan antara serat dan matriks. Oleh karena itu, spesimen yang mengandung serat fleksibel diharapkan memiliki kerapatan yang lebih rendah dibandingkan dengan spesimen yang tidak diperkuat karena serat ini menginduksi lebih banyak rongga, yang mengurangi massa material.

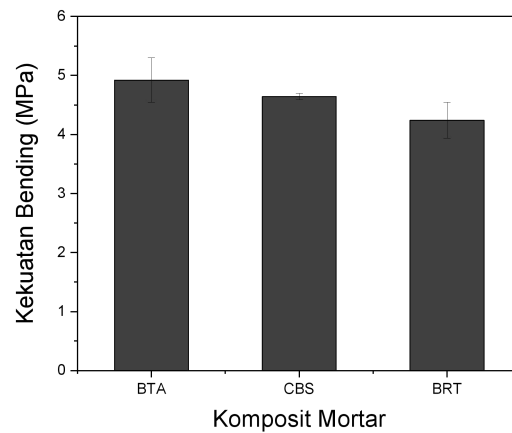
### 3.2 Kekuatan bending

Kekuatan dan modulus bending komposit mortar dengan penguat serat limbah tekstil ditampilkan pada gambar 6 dan 7 berturut-turut. Kekuatan bending komposit mortar terdegradasi dengan penambahan fraksi volume serat limbah tekstil. Komposit BTA tanpa serat limbah tekstil memiliki kekuatan bending tertinggi yaitu sebesar 4,92 MPa. Setelah penambahan serat tekstil 0,6 dan 1,2% kekuatan bending komposit menunjukkan trend yang menurun dengan masing-masing kekuatan bending sebesar 4,64 MPa dan 4,24 MPa berturut-turut. Hal ini merupakan akibat dari dikurangnya matrik (jumlah mortar) dengan fraksi volume serat limbah tekstil. Menurunnya kekuatan bending komposit ini besar kemungkinan disebabkan oleh kemampuan matrik yang rendah untuk mengikat serat limbah. Hal ini didukung oleh foto SEM *morphology* kegagalan permukaan komposit (lihat gambar 8b dan 8c). Penyebab menurunnya kekuatan bending komposit mortar juga merupakan akibat distribusi serat yang tidak merata pada komposit CBS dan BRT (Sari dan Suteja, 2022; Sari dkk., 2022b).

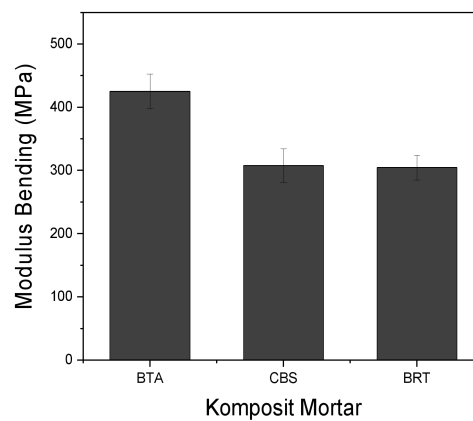
Oleh karena itu, dalam kasus kekuatan bending ini, harus diperhatikan bahwa serat hampir tidak berkontribusi pada mekanisme ketahanan three point bending sebelum terjadinya retakan pertama. Penambahan serat limbah tekstil pada komposit menunjukkan bahwa serat tidak tercampur homogen di dalam matriks sehingga menimbulkan lebih banyak void. Penambahan serat limbah tekstil ini pada komposit hanya berdampak pada pengurangan berat beton yang dihasilkan. Fenomena berbeda dilaporkan oleh Ardanuy dkk. (2015) dan Khorami dkk. Mereka melaporkan bahwa Modulus kegagalan dan kekuatan bending komposit meningkat dengan peningkatan kandungan serat hingga 8% tetapi menurun ketika jumlah fraksi volume serat lebih besar yang menyebabkan lemahnya ikatan matrik mortar dengan serat tekstil (Sari dkk., 2021). Hal ini dikarenakan kesulitan teknis yang terkait dengan pencampuran, efek balling, dan pematatan.

Nilai modulus bending komposit mortar diperkuat serat limbah tekstil ditampilkan pada gambar 7. Nilai modulus bending komposit mortar menunjukkan trend yang sama dengan nilai kekuatan bending komposit mortar. Modulus bending komposit mortar mengalami penurunan dari 425,08 MPa menjadi 307,61 MPa dengan adanya penambahan serat limbah tekstil dari 0,6% menjadi 1,2%. Penurunan modulus bending ini disebabkan oleh ikatan matrik mortar yang kurang bagus dengan serat limbah tekstil. Hal ini menyebabkan serat tidak dapat

menjembatani retakan bukaan pada bagian bawah sampel serta tidak adanya mekanisme transfer tegangan yang ditahan serat, terlebih matrik yang sebelumnya berupa busa mortar dan cepat sekali rapuh.



Gambar 6. Kekuatan bending komposit mortar diperkuat serat limbah tekstil.



Gambar 7. Modulus bending komposit mortar diperkuat serat limbah tekstil.

### 3.3 Morphology SEM

Gambar 8 mikrograph patahan dari sampel komposit mortar dari uji bending. Pengamatan SEM pada material ini tidak menunjukkan tanda-tanda kekuatan pasca-retak yang besar, keuletan dan kapasitas penyerapan energinya masih sangat terbatas dan karenanya komposit mortar ini hanya dapat diaplikasikan pada bangunan nonstruktural. Gambar 8a memperlihatkan permukaan patahan yang kurang padat serta permukaan yang tidak merata. Matrik mortar dibuat menjadi busa kemudian dicetak sehingga menyebabkan banyaknya pori-pori pada komposit mortar. Mode patahan ini dikenal dengan patah geas cup-coin. Selanjutnya gambar 8b dan 8c menyajikan foto patahan komposit mortar setelah adanya penambahan serat limbah tekstil. Ikatan interface komposit mortar terlihat didominasi oleh fiber pull out, sebaran serat tidak merata serat pori-pori pada matrik. Foto *morphology* patahan ini mendukung hasil pengujian tekan dan komposit mortar.





Gambar 8. *Morphology* foto SEM dari komposit mortar diperkuat serat limbah tekstil.

#### 4. KESIMPULAN

Sifat mekanik berupa kekuatan bending dan tekan komposit mortar diperkuat limbah tekstil telah diinvestigasi dan dipelajari lebih lanjut. Terdapat tiga variasi pada serat limbah tekstil yang membedakan komposit mortar yang dipelajari masing-masing 0%, 0,6% dan 1,2%. Pengamatan *morphology* patahan dengan SEM untuk mendapatkan kesesuaian kekuatan mekanis bahan ini. Beberapa kesimpulan berikut diperoleh dari hasil dan analisis:

1. Penambahan serat tekstil pada komposit mortar tidak berdampak negative terhadap kekuatan tekan, kekuatan bending dan modulus bending. Baik kekuatan tekan, bending maupun modulus bending mengalami penurunan seiring dengan penambahan fraksi volume serat tekstil sampai 1.2%, yang dikaitkan dengan rendahnya ikatan interface serat tekstil dengan matrik mortar.
2. *Morphology* penampang patahan komposit mortar didominasi oleh void akibat dari adanya penambahan bahan pembuat busa. Serat tekstil dominan pull out yang mendukung alasan penyebab turunnya kekuatan mekanik (tekan dan bending) komposit mortar.

Komposit ini tidak dapat diaplikasikan untuk bangunan konstruksi struktural, akan tetapi cocok untuk pelapis dinding untuk meredam suara.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan.

#### DAFTAR NOTASI

- $L$  : Panjang span (mm)  
 $b$  : Lebar (mm)  
 $d$  : Tebal  
 $m$  : Slope tangent kurva beban defleksi (N/mm).  
 $A$  : Luas total specimen silinder yang ditempatkan di antara dongkrak pembebanan dan sampel yang diuji.  
 $P_{max}$  : Gaya tekan maksimal (mm<sup>2</sup>).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ardanuy, M., Claramunt, J., Filho, R.D.T., Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research, *Construction and Building Materials*, 79, 115–128, 2015.
- Booya, E., Ghaednia, H., Das, S., Pande, H., Durability of cementitious materials reinforced with various Kraft pulp fibers, *Construction and Building Materials*, 191, 1191–1200, 2018.
- Booya, E., Gorospe, K., Ghaednia, H., Das, S., Free and restrained plastic shrinkage of cementitious materials made of engineered kraft pulp fibres, *Construction and Building Materials*, 212, 236–246, 2019.
- Echeverria, C.A., Handoko, W., Pahlevani, F., Sahajwalla, V., Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications, *Journal of Cleaner Production*, 2018.
- Ferrara, G., Caggegi, C., Martinelli, E., Gabor, A., Shear capacity of masonry walls externally strengthened using Flax-TRM composite systems: Experimental tests and comparative assessment, *Construction and Building Materials*, 261, 2020.

- Jia, Y., Zhao, R., Liao, P., Li, F., Yuan, Y., Zhou, S., Experimental study on mix proportion of fiber reinforced cementitious composites, *AIP Conf. Proc.*, 1890, 020002-1-020002, 2017.
- Khorami, M., Ganjian, E., The effect of limestone powder, silica fume and fibre content on flexural behaviour of cement composite reinforced by waste Kraft pulp, *Construction and Building Materials*, 46, 142–149, 2013.
- Montaser, W.M., Shaaban, I.G., Zaher, A.H., Khan, S.U., Sayed, M.N., Structural behaviour of polystyrene foam lightweight concrete beams strengthened with frp laminates, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 16(59), 1-20, 2022.
- Nautiyal, H., Shree, V., Khurana, S., Kumar, N., Recycling potential of building materials: A review, In: Muthu, S. (eds) *Environmental Implications of Recycling and Recycled Products, Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes*, Springer, 31–50, 2015.
- Purnowidodo, A., Suteja, S., Darmadi, D.B., Anam, K., Tensile strength and fatigue crack growth behaviour of natural fibre metal laminates. *Journal of Engineering science and Technology*, 15(4), 2809-2822, 2020.
- Sadrolodabaeaa, P., Claramunt, J., Ardanuy, M., de la Fuente, A., Mechanical and durability characterization of a new textile waste micro-fiber reinforced cement composite for building applications, *Case Studies in Construction Materials*, 14 (2021) e00492, 2021.
- Sari, N.H., Suteja, S., Fudholi, A., Sutaryono, Y.A., Maskur, M., Srisuk, R., Rangappa, S.M., Siengchin, S., Evaluation of impact, thermo-physical properties, and morphology of cornhusk fiber-reinforced polyester composites, *Polymer Composites*, 43(5), 2771-2778, 2022a.
- Sari, N.H., Suteja, S., Lokantara, I.P., Wibowo, T.G., Influence of pumice particles on the mechanical and morphology properties of polyester-cornhusk fiber composites, *Journal of Fibers and Polymer Composites*, 1(2), 97–105, 2022b.
- Sari, N.H., Suteja, S., Pineapple leaf fiber reinforced polyester composite modified with particles from horse dung waste: characterization of mechanical properties and morphology, *Journal of Fibers and Polymer Composites*, 1(1), 20-33, 2022.
- Sari, N.H., Suteja, S., Samudra, M.N., Sutanto, H., Composite of hibiscus tiliaceus stem fiber/polyester modified with carbon powder: synthesis and characterization of tensile strength, flexural strength and morphology properties, *International Journal of Nanoelectronics and Materials*, 14(3), 247-258, 2021.
- Tran, Y.T., Lee, J., Kumar, P., Kim, K.H., Lee, S.S., Natural zeolite and its application in concrete composite production, *Composites Part B*, 2019.
- United Nations, World population prospects, demographic-profiles, department of economic and social affairs, population division, Working Paper No. ESA/P/WP/248, 2017.
- Ütebay, B., Çelik, P., Çay, A., Textile wastes: status and perspectives, in waste in textile and leather sectors, *IntechOpen*: London, UK, 2020.