KETAHANAN MORTAR RINGAN CAMPURAN GULA AREN DAN RAGI PADA SUHU TINGGI: *NARRATIVE REVIEW*

Shelly Christina[1], Daniel Kristanto[1], Fahri Hafisuddin[1], Monita Olivia [2*]

[1]Mahasiswa/Program Studi S1 Teknik Sipil/Fakultas Teknik/Universitas Riau

[2]Dosen/Program Studi S1 Teknik Sipil/Fakultas Teknik/Universitas Riau

[*]Penulis Korespodensi: monita.olivia@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Lightweight mortar is a specific type of mortar that is made by adding a foaming agent. A lightweight mortar has a lot of pores or cavities filled with air, which reduces the mortar's weight. The lightweight mortar has better heat insulation than an ordinary mortar with its high porosity. There has been much research and application of lightweight mortar in the last few years. This review focuses on lightweight mortar made with a natural additive that has good high-temperature resistance. Many additives can be used, such as yeast and palm sugar. Yeast is a microorganism that can be used as a foaming agent because it can produce carbon dioxide (CO2) that creates a lot of pores in the mortar through the glycolysis process. Palm sugar is a disaccharide groups sugar, and sucrose, consisting of glucose and fructose. Glucose can reduce gypsum consumption in mortar and ettringite formation. Besides, sugar contains lignin, which can increase the bonding strength of mortar components. This study proves that the innovation of lightweight mortar with organic additives has a long-term potency with its durability at high temperatures.

***Keywords* :** *high temperature resistance, lightweight mortar, palm sugar, yeast*

1. PENDAHULUAN

Mortar adalah material yang banyak digunakan untuk bahan bangunan karena kekuatan dan ketahanannya. Mortar dibuat dengan mencampurkan air, semen, dan agregat halus hingga membentuk campuran homogen. Penelitian mengenai mortar terus meningkat dalam beberapa tahun terakhir terutama pada jenis mortar khusus. Berdasarkan *database ScienceDirect*, terdapat lebih dari 4000 artikel dalam rentang 2017–2020 yang membahas mortar dengan bahan tambah dalam topik konstruksi dan bahan bangunan. Untuk mortar ringan sendiri terdapat lebih dari 2000 artikel. Mortar biasa memiliki kekuatan dan ketahanan yang baik namun dalam beberapa tahun terakhir banyak penelitian mengenai peningkatan kinerja dan kualitas dari mortar biasa untuk tujuan tertentu dengan menggunakan bahan tambah tertentu, baik yang alami maupun buatan [1,2].

Mortar khusus memiliki campuran bahan tambah sesuai sesuai dengan kinerja di lingkungan tertentu yang ingin dicapai. Contoh dari mortar khusus adalah mortar ringan. Mortar ringan memiliki beberapa kelebihan seperti dapat mengurangi berat struktur sehingga cocok digunakan sebagai material konstruksi untuk struktur bertingkat di tanah lunak dan tingkat insulasi panas serta suara yang lebih baik daripada mortar biasa. Mortar ringan dibuat dengan menambahkan *foaming agent*. *Foaming agent* yang digunakan dapat berbahan dasar sintetis maupun berbahan dasar protein [3]. Sejauh ini, penelitian-penelitian yang ada memfokuskan pada kekuatan dengan berbagai jenis bahan tambah yang digunakan sebagai *foaming agent* seperti saponin, lerak atau *soap nut*, fermipan, *hydrogen perixode*, sabun cuci piring, dan lainnya [4-6]. Pada artikel *narrative review* ini, akan dibahas secara detail mengenai potensi mortar ringan dengan bahan tambah organik, yakni ragi dan gula, sebagai material konstruksi yang tahan suhu tinggi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Suhu Tinggi

Salah satu kemungkinan mortar ringan dapat terpapar suhu tinggi adalah ketika terjadi kebakaran. Kebakaran merupakan bencana yang terjadi akibat adanya api yang tidak terkontrol, beresiko menyebabkan korban jiwa, menyebabkan kerusakan pada struktur dan lingkungan. Dalam rentang 2010-2019 telah terjadi 1.212 kasus kebakaran di Indonesia dengan jumlah korban jiwa 30.688 orang dan bangunan yang mengalami kerusakan berat sebanyak 8.481 unit dengan 7.902 diantaranya berbahan dasar beton [7].

Suhu tinggi dapat mempengaruhi karakteristik dari beton dan mortar seperti perubahan warna, kuat tekan, porositas, elastisitas, densitas, dan permukaan beton dan mortar [3,8]. Penelitian-penelitian terdahulu menujukkan bahwa semakin tinggi suhu pembakaran beton, maka kuat tekan beton semakin menurun. Hal ini terjadi dikarenakan beton memiliki kandungan *calcite* ($CaCO_3$) dan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$). Ketika terpapar suhu tinggi, *calcite* ($CaCO_3$) dan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) akan mengalami reaksi kimia yang memicu pembentukan kapur bebas (CaO). Kapur bebas (CaO) yang terbentuk mengakibatkan terbentuknya banyak pori pada beton dan mortar. Semakin banyak pori yang terbentuk pada beton dan mortar mengakibatkan penurunan kekuatan pada beton dan mortar [9]. **Tabel 1** menunjukkan perubahan pada pasta OPC seiring dengan perubahan suhu dan pendinginan.

Tabel 1. Perubahan pasta OPC murni terhidrasi terhadap peningkatan suhu [10]

Perubahan suhu	Perubahan yang terjadi pada pasta OPC
70-90^{0}C	Hidrasi dan dekomposisi ettringite
90-491^{0}C	Pasta OPC mengembang pada suhu 93^{0}C
100-110^{0}C	Penguapan air, peningkatan porositas dan terjadi retakan mikro
120^{0}C	Air yang dapat menguap pada pasta semen dan gel CSH hilang secara sempurna dari beton
110-170^{0}C	*Gypsum* terdekomposisi
100-300^{0}C	Menguapnya air tidak bisa terevaporasi Ikatan CSH tidak bereaksi sampai suhu 300^{0}C
200-700^{0}C	Ikatan CSH terhidrasi sempurna dan terdekomposisi
350-550^{0}C	CH terdekomposisi menjadi lempung dan air
Pendinginan pada suhu 20^{0}C	Pengembangan volume dan kerusakan beton oleh retakan mikro dan makro

Mortar masih dapat mempertahankan karakteristiknya pada suhu 100^{0}C selama pemanasan pada jam pertama dan belum mengalami penurunan kekuatan secara signifikan hingga suhu 250^{0}C. Pada saat mencapai suhu 300^{0}C, mortar mengalami penurunan kuat tekan sampai dengan 30% dari kekuatan normal mortar dan diatas suhu 300^{0}C, akan terjadi proses dekomposisi dan karbonasi pada beton dan mortar [11]. Berdasarkan **Tabel 1**, pada rentang suhu 200-700^{0}C, pada pasta OPC murni, ikatan CSH akan terhidrasi sempurna dan terdekomposisi. Kemudian pada rentang suhu 350-550^{0}C, CH pada pasta OPC murni akan terdekomposisi menjadi lempung dan air. Setelah mortar mengalami pendinginan hingga suhu 20^{0}C, maka akan terjadi pengembangan volume dan kerusakan beton oleh retakan mikro dan makro. Sehingga dapat disimpulkan bahwa saat pasta OPC murni terkena suhu ekstrim kemudian mengalami pendinginan langsung, akan terjadi pengembangan volume yang menyebabkan retak-retak makro maupun mikro sehingga mortar akan rusak. Hal ini menjadi gambaran serupa dengan kasus kebakaran, yakni ketika sebuah struktur terpapar suhu sangat tinggi, lalu mengalami pendinginan, maka pasta semen pada struktur tersebut dapat mengalami kerusakan akibat perubahan suhu yang sangat ekstrim.

Pada **Tabel 2** dapat dilihat perubahan sifat agregat akibat perubahan suhu. Ketika suhu di sekelilingnya mencapai suhu ekstrim, maka agregat mulai mengalami kehancuran.

Tabel 2. Perubahan agregat akibat peningkatan suhu [10]

Perubahan suhu	Perubahan sifat agregat
<100^{0}C	Penguapan air di dalam agregat
300-500^{0}C	Agregat masih stabil
570^{0}C	Terjadi pembesaran volume Quartz sebanyak 5,7%
600-800^{0}C	Terjadi reaksi dekarbonasi agregat
800-1200^{0}C	Disintegrasi agregat
600-900^{0}C	Agregat terdekomposisi menjadi lempung
1100-1200^{0}C	Beton meleleh

Selain pasta semen, suhu tinggi juga akan mempengaruhi kestabilan agregat. Berdasarkan **Tabel 2** dapat dilihat bahwa pada rentang suhu 300-500^{0}C, agregat masih stabil. Akan tetapi saat suhu pembakaran mencapai 570^{0}C, terjadi pembesaran volume *quartz* atau kuarsa sebesar 5,7%. Agregat lalu mengalami dekomposisi menjadi lempung saat mencapai suhu sekitar 600-900^{0}C. Proses dekomposisi ini terjadi setelah agregat mengalami disintegrasi pada suhu 800-1200^{0}C. Dibandingkan dengan pasta OPC murni, maka agregat memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk mengalami kehancuran. Namun pada prinsipnya, agregat dan pasta OPC murni sama-sama mengalami kehancuran akibat suhu tinggi seperti pada kebakaran gedung.

2.2. Mortar Ringan

Mortar ringan adalah mortar yang dibuat dengan campuran mortar biasa yakni air, agregat halus berupa pasir, dan semen yang kemudian ditambahkan *foaming agent*. Banyak penelitian mengenai mortar ringan yang telah dilakukan dengan menambahkan berbagai jenis *foaming agent*. Secara umum, berbagai penelitian membahas mengenai ketahanan dan kekuatan mortar ringan dengan menambahkan bahan tertentu sebagai *foaming agent* [9,12-14]. Rongga yang seharusnya berisi agregat akan diisi oleh udara sehingga mortar menjadi ringan karena adanya penambahan *foaming agent*.

Mortar ringan sangat cocok digunakan sebagai material bangunan bertingkat, terutama di tanah lunak. Mortar ringan dapat mengurangi berat struktur sehingga beban yang harus didukung oleh tanah dan pondasi struktur dapat berkurang. Berdasarkan data penelitian sebelumnya, selain dapat mengurangi berat struktur, mortar ringan juga memiliki tingkat insulasi panas dan suara yang lebih baik dari mortar biasa [6,15]. Beton ringan dibuat tanpa menggunakan agregat kasar, memiliki densitas yang lebih kecil dengan kekuatan yang lebih tinggi dari beton konvensional [16].

2.3. *Foaming Agent*

Salah satu bahan yang ada pada campuran mortar ringan adalah *foaming agent*. Penambahan *foaming agent* bertujuan untuk membentuk gelembung-gelembung gas atau udara yang dapat mempertahankan struktur gelembung tersebut sampai campuran mortar menjadi keras. Propertis dari material ringan dipengaruhi oleh jenis bahan pengikat dan jenis *foaming agent* yang digunakan [6].

Foaming agent terdiri atas 2 jenis yaitu *foaming agent* berbahan dasar sintetis dan *foaming agent* yang berbahan dasar protein atau alami [6]. Kedua jenis *foaming agent* ini memiliki karakteristik yang berbeda. *Foaming agent* berbahan dasar sintetis memiliki kepadatan sekitar 40 kg/m^3. *Foaming agent* jenis ini dapat mengembang sekitar 25 kali dan sangat stabil untuk kepadatan diatas 1000 kg/m^3. *Foaming agent* ini dapat bertahan hingga 16 bulan dalam keadaan tertutup. Perbandingan konsentrasi *foaming agent* sintetis terhadap air adalah 1:19 yang berarti 1 liter *foaming agent* sintetis dilarutkan dalam air sebanyak 19 liter sebelum digunakan [12].

Sedangkan *foaming agent* berbahan dasar protein memiliki kepadatan sekitar 80 kg/m^3. *Foaming agent* jenis ini dapat mengembang sekitar 12,5 kali dan relatif lebih stabil serta memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan *foaming agent* berbahan dasar sintetis. *Foaming agent* berbahan dasar protein berasal dari bahan alami, dapat bertahan hingga 12 bulan dalam keadaan terbuka. Perbandingan konsentrasi *foaming agent* berbahan dasar protein terhadap air adalah 1:33 sampai 1:39 yang berarti 1 liter *foaming agent* berbahan dasar protein harus dilarutkan dengan air sebanyak 33 sampai 39 liter sebelum digunakan [12].

2.4. Gula Aren

Salah satu bahan alami yang dapat ditambahkan pada campuran mortar ataupun beton adalah gula. Berdasarkan penelitian-penelitian yang pernah dilakukan, gula ditambahkan dalam campuran beton ataupun mortar dapat mempengaruhi waktu ikat atau *setting time*. Pemanfaatan gula sebagai bahan retarder untuk memperlambat *setting time* pernah diaplikasikan pada proyek pembangunan Stasiun Victoria di London, Inggris. Pada saat itu gula ditambahkan agar campuran beton yang tumpah tidak cepat mengeras sehingga lebih mudah dibersihkan [17]. Hasil penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa gula pada dosis tertentu dapat berperan sebagai *retarder* dan *accelerator* terhadap *setting time* campuran beton maupun mortar [14,18,19]. Selain itu, penambahan gula yang disebarkan secara merata ke dalam adukan beton dapat mencegah terjadinya retakan-retakan mikro dalam beton yang terlalu dini, baik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan [9].

Gula aren merupakan gula dibuat dari proses pemanasan nira hingga menjadi pekat. Nira adalah cairan yang dikeluarkan dari bunga jantan pohon keluarga palma seperti kelapa, aren, dan siwalan. Gula aren memiliki beberapa sifat khusus diantaranya padat pada suhu ruangan, rapuh saat dipatahkan, dan dapat meleleh sempurna pada suhu tubuh [20]. Gula aren terdiri dari gula bergugus disakarida yakni sukrosa yang bersifat liat dan lengket [11]. Sukrosa merupakan gugus gula dengan komponen glukosa dan fruktosa. Sukrosa terbentuk dari proses fotosintesis melalui interaksi antara karbondioksida dan air pada tumbuhan. Glukosa yang terkandung dalam gula dapat menghambat konsumsi *gypsum* dan pembentukan *ettringite* [9]. Selain itu, penambahan gula pada dosis tertentu menyebabkan kristalisasi *ettringite* tidak menyebabkan beton retak pada saat terjadi pengembangan volume. Kandungan lignin pada gula juga dapat memperkuat ikatan antar elemen penyusun beton maupun mortar. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan semakin lama proses pemanasan pada saat pembuatan gula aren, semakin tinggi nilai kuat tekan dari gula aren tersebut [20].

Pada **Tabel 3** dapat dilihat perbandingan komposisi kimia antara gula cetak, gula semut aren, dan gula jahe aren.

Tabel 3. Komposisi kimia gula aren

Kandungan Kimia	Gula cetak	Gula semut aren	Gula jahe-aren
Air (%)	7,03	2,77	0,63
Gula total (%)	77,56	90,28	88,54
Sukrosa (%)	74,30	86,37	83,81
Gula reduksi (%)	3,10	3,71	4,49
Karbohidrat (%)	88,45	91,61	93,23
Protein (%)	2,03	2,45	2,82
Lemak (%)	0,37	0,41	0,54
Abu (%)	2,12	2,76	2,78
Energi kkal/100gr	365,25	379,93	389,06

Sedangkan **Tabel 4** menunjukkan nilai kuat tekan dari 5 sampel gula aren setelah dipanaskan dengan variasi durasi pemanasan dan beban tekan.

Tabel 4. Kuat tekan gula aren [20]

	Sampel				
	1	2	3	4	5
Berat (Kg)	61.5	67.5	73.5	84.5	86.0
D (cm)	3	3	3	3	3
T (cm)	6	6	6	6	6
Beban Tekan (N)	28.35	34.26	34.36	38.85	44.26
Lama Pemanasan (menit)	26	27	28	29	30
Kuat Tekan (Mpa)	0.074	0.089	0.090	0.101	0.115

2.5. Ragi

Ragi merupakan fungus bersel satu dari genus *Saccharomyces*, spesies *cerevisiae* yang berukuran 6-8 mikron. Ragi berbentuk bulat telur yang dilindungi dinding membran yang sifatnya *semipermeable*. Ragi bereproduksi dengan cara membelah diri (*budding*) dan dapat hidup di lingkungan tanpa oksigen atau anaerob. Ragi membutuhkan air, makanan, dan lingkungan yang sesuai untuk beraktivitas. Ragi dapat berkembang pada mortar karena tersedianya nutrisi berupa kapur bebas (CaO) yang merupakan hasil samping dari proses reaksi pada beton dan mortar. Ragi akan semakin mudah bekerja jika terdapat kandungan gula sebagai sumber nutrisi dan dalam kondisi suhu yang hangat. Hasil dari aktivitas ragi adalah karbondioksida yang membuat adonan mengembang dan membentuk pori. Morfologi beton dianalisa

menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan matriks material memiliki volume pori yang besar karena adanya penambahan fermipan [4].

Untuk menghasilkan mortar ringan, ditambahkan ragi pada campuran mortar. Ragi akan melakukan proses glikolisis yaitu proses pemecahan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) menjadi alkohol (C_2H_5OH) dan karbondioksida (CO_2) dalam kondisi tanpa udara (anaerobik). Karbondioksida akan membentuk gelembung-gelembung yang menyebabkan campuran menjadi berpori. Reaksi kimia fermentasi:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2\ ATP$$

Penambahan gula pada campuran mortar dapat memperkuat ikatan antar komponen penyusun mortar karena adanya kandungan lignin [9]. Berdasarkan penelitian terdahulu, penambahan gula pada dosis tertentu dapat berfungsi sebagai *accelerator* atau *retarder* pada campuran mortar dan beton [11,14,18]. Kandungan glukosa dapat menghambat proses konsumsi *gypsum* dan pembentukan *ettringite* sehingga kristalisasi *ettringite* tidak akan menyebabkan retak pada beton akibat pengembangan volume [9]. Selain itu, penambahan gula juga membuat kondisi campuran mortar semakin ideal untuk aktivitas ragi. Berdasarkan penelitian terdahulu, kadar gula untuk menghasilkan campuran dengan komposisi optimum berkisar diantara 0,05 sampai 0,15% dari berat semen yang digunakan pada campuran [1,9,11,14,19,21,22].

3. METODE PENELITIAN

Penulisan *narrative review* ini dilaksanakan melalui studi literatur dengan memanfaatkan data sekunder yang berasal dari literatur-literatur terkait yang sudah dipublikasikan.

Adapun tahapan-tahapan yang dilaksanakan:

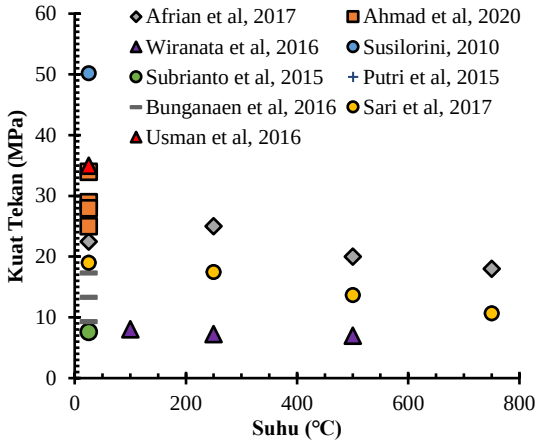
1. Mengumpulkan literatur terkait pembahasan dengan kata kunci seperti mortar ringan, gula, gula aren, ragi, ketahanan terhadap suhu tinggi dari jurnal nasional maupun internasional yang didapatkan melalui *database* seperti ScienceDirect, Research Gate, Portal Garuda, DOAJ, Google Scholar, dan lainnya;
2. Membuat *outline* untuk mempermudah penulisan *narrative review* dan proses mengidentifikasi data yang diperlukan dalam penulisan *narrative review*;
3. Mengidentifikasi dan menganalisis dalam bentuk tabel rangkuman yang memuat data *author*, judul literatur, dan *findings* atau temuan;
4. Mengevaluasi dan sintesis data sesuai dengan *outline narrative review*. Kemudian mengolah dan menyintesis data untuk mendapatkan korelasi terhadap penelitian. Korelasi dapat berupa grafik, tabel maupun paragraf deskriptif;
5. Membuat peta konsep untuk memetakan semua sub pembahasan yang akan ditulis dalam *narrative review*. Peta konsep juga dilengkapi dengan nama *author* dari literatur terkait sub pembahasan untuk membantu mengetahui jumlah literatur yang relevan terhadap pembahasan;
6. Menulis *draft narrative review* yang akan diperiksa kembali, dilakukan revisi serta penyempurnaan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Ketahanan Terhadap Suhu Tinggi

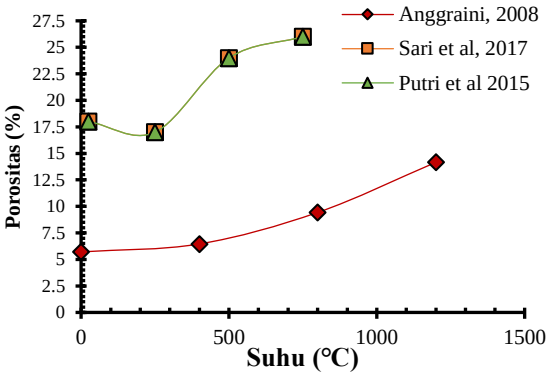
Penelitian sebelumnya menunjukkan variasi jenis gula dan kadarnya menghasilkan kuat tekan yang bervariasi. Berdasarkan data dari penelitian-penelitian sebelumnya, kekuatan mortar mengalami perubahan seiring dengan peningkatan suhu. Semakin tinggi suhu, kuat tekan mortar semakin rendah [1,2,8,9,11,14,18,21,22].

Pada **Gambar 1** dapat dilihat bahwa mortar dengan berbagai campuran berbeda mengalami penurunan kekuatan seiring dengan kenaikan suhu. Hasil kajian terdahulu [9] menunjukkan bahwa pada saat mortar terpapar suhu 300^0C, kuat tekan mortar mengalami penurunan hingga 30% dari kekuatan normal. Pada suhu yang lebih tinggi akan terjadi proses dekomposisi dan karbonasi menghasilkan kapur bebas. Kapur bebas menyebabkan semakin banyak pori yang terbentuk pada mortar. Ruang pori atau rongga udara yang terlalu banyak menyebabkan mortar semakin rapuh atau dengan kata lain mengalami penurunan kekuatan. Berdasarkan hasil penelitian dari literatur terkait, mortar dengan tambahan gula memiliki kekuatan yang lebih baik daripada mortar tanpa tambahan gula pada suhu yang sama.



Gambar 1. Kekuatan mortar dengan campuran berbeda terhadap variasi suhu.

Sedangkan pada **Gambar 2,** berdasarkan hasil penelitian terdahulu, porositas mortar meningkat seiring dengan kenaikan suhu.



Gambar 2. Tingkat porositas terhadap variasi suhu

Suhu tinggi juga mempengaruhi porositas mortar. Porositas menggambarkan kepadatan mortar. Semakin tinggi porositas maka semakin banyak pori atau rongga yang terdapat pada mortar. Tingkat porositas memiliki pengaruh terhadap kekuatan mortar. Berdasarkan data dari penelitian yang pernah dilakukan, semakin tinggi suhu maka semakin tinggi tingkat porositas mortar [3, 9, 19]. Tingkat porositas yang tinggi menyebabkan mortar bersifat porous atau mudah ditembus oleh air, daya ikatnya berkurang, dan porositas tinggi menyebabkan mudah terjadi slip diantara butiran pasir yang menyusun mortar. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan suhu mengakibatkan penurunan kekuatan mortar seiring dengan peningkatan porositas.

4.2. Potensi Mortar Ringan Dengan Tambahan Gula Aren dan Ragi

Pada beberapa tahun terakhir, kinerja mortar normal untuk tujuan tertentu telah banyak dikaji. Selain untuk meningkatkan kinerja mortar itu sendiri, penelitian yang telah dilakukan juga mempertimbangkan isu kerusakan lingkungan sehingga inovasi yang dikaji mayoritas menggunakan prinsip ramah lingkungan baik dengan menggunakan produk organik ataupun memanfaatkan kembali limbah atau sampah.

Mortar ringan sering kali digunakan sebagai material bangunan untuk membuat ruangan lebih kedap suara atau tahan terhadap panas karena memiliki insulasi panas dan suara yang lebih baik daripada mortar biasa. Selain itu, pengaplikasian mortar ringan juga dilakukan pada pembangunan struktur bertingkat yang cukup besar seperti jalan layang untuk mengurangi berat struktur. Tambahan gula juga telah terbukti dapat meningkatkan kualitas mortar. Penambahan gula dalam dosis tertentu juga memiliki efek sebagai *accelerator* dan *retarder* pada campuran mortar. Kandungan lignin dalam gula juga dapat memperkuat ikatan antar elemen penyusun mortar. Glukosa dalam gula berperan untuk menekan konsumsi *gypsum* dan pembentukan *ettringite* sehingga mencegah beton retak akibat adanya pengembangan volume. Penambahan ragi dan gula aren pada campuran mortar terbukti dapat menghasilkan mortar ringan yang tahan suhu tinggi.

9. KESIMPULAN

Mortar ringan merupakan campuran mortar biasa yang ditambahkan bahan tambah berupa *foaming agent* baik yang alami maupun buatan. Salah satu bahan alami yang terbukti dapat digunakan sebagai foaming agent adalah ragi. Reaksi dari ragi pada campuran mortar menghasilkan karbondioksida yang membentuk pori berisi udara pada mortar sehingga mortar menjadi ringan. Penambahan gula terbukti dapat meningkatkan kualitas daripada mortar terutama pada kekuatan dan ketahanan mortar saat terpapar suhu tinggi. Salah satu jenis gula yang dapat menjadi opsi sebagai bahan tambah adalah gula aren. Penemuan dari penelitian ini membawa pada sebuah inovasi ramah lingkungan dalam ilmu dan pengembangan teknologi beton. Pemanfaatan bahan alami seperti ragi dan gula

aren dapat menghasilkan mortar ringan yang dapat diaplikasikan pada struktur terutama struktur bertingkat atau struktur yang akan dibangun di atas tanah lunak dengan keunggulan yaitu ketahanan yang baik terhadap kebakaran atau suhu tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Pembelajaran, Alumni dan Kemahasiswaan melalui Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian tahun 2020.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Subrianto, A., Puryanto dan Sukarman. 2015. Pengaruh Perawatan Benda Uji Terhadap Kuat Tekan Mortar Semen Dengan Penambahan Gula. *PILAR*. 15(1):16–25.

[2] Susilorini, R. 2010. The Use of Sugar, Sucrose and Sugar Cane Liquid Mix As Sugar Based Admixtures For Mortar. *Seminar Nasional VI 2010 Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya*.

[3] Susilorini, R. 2010. The Use of Sugar, Sucrose and Sugar Cane Liquid Mix As Sugar Based Admixtures For Mortar. *Seminar Nasional VI 2010 Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya*.

[4] Irfanita, R., Ansar, A., M. A., Subaer. 2016. The Use of Fermipan In The Production of Lightweight Geopolymer as An Environmentally Friendly And Fire-Resistant Concret. *Materials Science Forum*. 841:72–78.

[5] Kumar, V. S., Sankar, J. S., Suren, S., Ananthkumar, M., Bhuvaneshwari, M. 2018. Experimental Investigation of Light Weight Foamed Cement Mortar. *International Journal of Science and Engineering Research (IJOSER)*. 6(4):2191–2197.

[6] Varghese, S., Ashok, A. M., Joseph, A. K., Emmanuel, S., V., S. O. 2017. A Study On Properties of Foamed Concrete With Natural and Synthetic Foaming Agent. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 4(3):2009–2011.

[7] BNPB. 2019. *Bencana Non Alam Di Indonesia Tahun 2010 s/d 2019*. URL: http://bnpb.cloud/dibi/tabel1a. Diakses tanggal 25 Oktober 2019.

[8] Wiranata, A., Afrizal, Y. dan Gunawan, A. 2016. Pengaruh Suhu Dan Waktu Pembakaran Terhadap Kuat Tekan Mortar Pada Umur 28 Hari. *Jurnal Inersia*. 8(1):39–48.

[9] Putri, N. D., Olivia, M. and Djauhari, Z. 2015. Kuat Tekan, Porositas dan Sorptivity Mortar Dengan Bahan Tambah Gula Aren Pada Suhu Tinggi. *Prosiding 2nd Andalas Civil Engineering National Conference.* 13 Agustus 2015, Padang, Indonesia. pp. 153–159.

[10] Cree, D., Green, M. F. and Noumowe, A. 2013. Residual Strength of Concrete Containing Recycled Materials After Exposure to Fire: A Review. *Construction and Building Materials*. 45:208–223.

[11] Tansajaya, A. dan Tjahjana, N. K. 2008. Studi Pembuatan Cellular Lightweight Concrete (CLC) Dengan Menggunakan Beberapa Foaming Agent. *Tesis.* Petra Christian University, Surabaya.

[12] Amiruddin, A. A. 2012. Studi Penggunaan Semen Portland Pozzolan Terhadap Karakteristik Mortar Akibat Kenaikan Suhu. *Seminar Fakultas Teknik, Proseding Hasil Penelitian Teknologi Terapan FT. Unhas.* 2012, Makassar, Indonesia.

[13] Usman, N. D., Chom, H. A., Salisu, C., Abubakar, H. O., Gyang, J. B. 2016. The Impact of Sugar on Setting -Time of Ordinary Portland Cement (OPC) Paste and Compressive Strength of Concrete. *FUTY Journal of the Environment*. 10(1):07–114.

[14] Vilches, J., Ramezani, M. dan Neitzert, T. 2013. Advances in Civil and Environmental Engineering Experimental Investigation of The Fire Resistance of Ultra-Lightweight Foam Concrete. *Advances in Civil and Environmental Engineering*. 1:1-12.

[15] Roy, R. E., Markose, S., Salim, S., Raj, V. D., Devi, M. G. 2020. Aerated Concrete Production Using Various Raw Materials: A Review. *International Research Journal of Engineering and Technology.*7(5):4377–4381.

[16] Limited, T. M. G. 2014. *Why sugar helped remove Victoria Line concrete flood*. URL:https://www.telegraph.co.uk/news/science/science-news/10594718/Why-sugar-helped-remove-Victoria-Line-concrete-flood.html. Diakses tanggal 25 Oktober 2019.

[17] Ahmad, S., Lawan, A. dan Al-Osta, M. 2020. Effect of Sugar Dosage On Setting Time, Microstructure and Strength of Type I and Type V Portland Cements. *Case Studies in Construction Materials*. 13.

[18] Sari, N. P. 2018. Pengaruh Penambahan Gula Aren Terhadap Setting Time Dan

Ketahanan Mortar Terhadap Temperatur Tinggi. *Jurnal Sainstek*. 5(2):67–274.

[19] Hau, R. R. H., Aji, M. P., Sulhadi, Hau, S. K., Talu, S. D. 2016. Nilai Kuat Tekan Gula Aren. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2016.* 5:13-18.

[20] Bunganaen, W., Hunggurami, E. and Beingala, Y. 2016. Pengaruh Penambahan Gula Pasir Terhadap Kuat Tekan Dan Sifat Kedap Air Mortar. *Jurnal Teknik Sipil*. 5(1):105-116.

[21] Trimurtiningrum, R., Sutriono, B., Arrowrichta, B., Watu, H. B. 2019. Pengaruh Penambahan Gula Pasir terhadap Waktu Ikat Awal Pasta Semen dan Mortar. *Kurvatek*. 4(2):87–92.

[22] Afrian, M., Olivia, M. dan Djauhari, Z. 2017. Kuat Tekan Mortar OPC Abu Sekam Padi Pada Suhu Tinggi. *Jom FTEKNIK*. 4(1):229-235.