JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 6, No. 1, Juni 2021, Hal. 147-154
Terakreditasi "**Peringkat 3**" oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v6.i1.2021.147-154
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Tingkat Ketahanan Dinding Bata Berbahan Dasar Limbah Plastik Terhadap Kebakaran

Dian Pranata Putra Ambali[#], Jumiarti Andi Lolo, Israel Padang
Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja
Jl. Nusantara No. 12 Makale, Tana Toraja, Indonesia
[#]dian.pranata.putra@gmail.com

Abstrak

Telah banyak variasi campuran untuk membuat bata khususnya yang memanfaatkan limbah, salah satunya yaitu limbah plastik. Pada penelitian sebelumnya telah diperoleh komposisi bata berbahan dasar limbah plastik dengan kekuatan tekan bata yang dihasilkan sebesar 140 kg/cm^2. Namun demikian perlu diperhatikan bahwa bahan penyusun utama dari bata tersebut adalah plastik yang sangat berpotensi mengalami perubahan bentuk serta volume ketika mengalami perubahan temperatur yang tinggi seperti pada saat terjadi kebakaran. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau tingkat ketahanan bata berbahan dasar limbah plastik terhadap kebakaran. Pengujian dilakukan sesuai dengan SNI 1741-2008 tentang cara uji ketahanan api komponen struktur bangunan untuk pencegahan bahaya kebakaran pada bangunan rumah dan gedung. Pengujian dilakukan selama 180 menit dengan temperatur awal pada sisi terekspose api adalah 23^{o}C dan pada akhir pengujian 855^{o}C, sedangkan temperatur rata-rata pada sisi yang tidak terekspose api adalah 23,08^{o}C dan pada akhir pengujian 84,05^{o}C. Pada menit 60 terjadi retakan pada sisi terekspose api sehingga menyebabkan bata terbakar karena bahan dasar dari bata yaitu plastik yang mudah terbakar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dinding dengan bata berbahan dasar limbah plastik dinyatakan dalam ketahanan stabilitas/integritas/insulasi dalam satuan menit tidak memenuhi tingkat ketahanan api dengan nilai -/60/180.

Kata kunci: bata, limbah plastik, tingkat ketahanan api

Abstract

There have been many variations of mixtures to make bricks, especially those utilize waste, one of which is plastik waste. In previous research, the composition of brick made from plastik waste has been obtained with the resulting brick compressive strength of 140 kg/cm^2. However, it should be noted that the main material of these bricks is plastik which has the potential to change shape and volume when encounter high temperature changes such as during a fire. This study aims to examine the level of fire resistance of bricks made from plastik waste to fire. The test is carried out in accordance with SNI 1741-2008 on how to test the fire resistance of building structural components for the prevention of fire hazards in houses and buildings. The test was carried out for 180 minutes with the initial temperature at the exposed side of the fire was 23^{o}C and at the end of the test 855^{o}C, while the average temperature on the side that was not exposed to the fire was 23.08^{o}C and at the end of the test 84.05^{o}C. At 60 minutes a crack occurs on the exposed side of the fire, causing the brick to burn because the main material of brick is plastik which is flammable. The test results show that a wall with a brick made from plastik waste expressed in terms of stability/integrity/insulation resistance in minutes does not meet the fire resistance level with a value of -/60/180.

Keywords: *bricks, plastik waste, fire resistance*

I. PENDAHULUAN

Bata merupakan salah satu bahan yang masih banyak digunakan sebagai dinding suatu bangunan. Selain itu, bahan penyusun dinding juga dapat berupa beton (dinding geser), batako, ataupun bata ringan. Salah satu keunggulan dinding bata ringan adalah tingkat insulasi panas dan suara yang baik [1]. Dinding memiliki fungsi struktural dan non struktural dalam sebuah konstruksi. Fungsi struktural dinding pada sebuah konstruksi adalah untuk menopang beban struktur yang ada di atas dinding yang kemudian disalurkan ke struktur di bagian bawahnya, sedangkan fungsi non struktural dinding adalah sebagai sekat antar ruangan.

Diterima: 11 April 2021; Direvisi: 28 Mei 2021; Disetujui: 28 Juni 2021
JTERA, Vol. 6, No. 1, Juni 2021

© 2021 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

Pada umunya bata merah pejal berbahan dasar tanah liat yang dicetak sesuai ukuran standar kemudian dibakar. Namun, saat ini telah banyak variasi bahan untuk pembuatan bata merah pejal sehingga tidak sepenuhnya menggunakan tanah liat. Beberapa peneliti telah mencoba membuat komposisi bata merah yang memanfaatkan limbah sebagai bahan utama sehingga selain mendapatkan bata merah yang berkualitas limbah juga termanfaatkan. Pemanfaatan limbah sebagai bahan dasar pembuatan bata merah pejal diharapkan dapat mengurangi penggunaan sumber daya alam serta mendaur ulang limbah sehingga tidak menjadi polutan. Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan batako terbukti cukup efisien dalam mereduksi limbah pastik [2], [3]. Namun demikian kekuatan tekan dari batako tersebut belum memenuhi nilai kuat tekan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Secara ekomoni biaya produksi pembuatan bata dengan bahan dasar limbah plastik lebih murah dibandingkan bata merah pada umumnya [4], [5]. Hal ini dikarenakan bahan dasar yang tidak memerlukan modal karena telah menjadi limbah hanya saja diperlukan biaya untuk pengangkutan. Bata berbahan dasar sampah plastik memiliki kekuatan tekan di atas 100 kg/cm^2 dan daya serap air yang sangat kecil dibandingkan dengan bata merah pejal pada umumnya. Namun daya lekat dari bata tersebut sangat kecil dibandingkan dengan bata merah pada umumnya sehingga dibutuhkan campuran mortar dengan komposisi semen yang lebih banyak [6]-[9].

Pengujian ketahanan batako ban bekas terhadap api menyimpulkan bahwa semakin besar kadar ban bekas dalam batako, akan menyebabkan temperatur pada sisi tidak terekspose api menjadi lebih rendah dan akan menurunkan laju penyebaran temperatur [10]. Penelitian tersebut belum memberikan gambaran bagaimana peningkatan temperatur dapat berdampak terhadap bentuk dari batako tersebut hanya meninjau bagaimana potongan ban bekas dapat menurunkan laju penyebaran panas. Pada umumnya pasangan bata merah dari tanah liat banyak digunakan karena memiliki kinerja insulasi termal dan suara yang baik [11].

Sebelum dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk pasangan dinding, bata merah yang dihasilkan harus memenuhi standar SNI 15-2094-2000 tentang bata merah pejal untuk pasangan dinding. Pada penelitian sebelumnya telah didapatkan komposisi campuran bata merah yaitu 51% limbah plastik, 41% tanah laterit, dan 8% sekam padi. Komposisi ini merupakan komposisi terbaik (berbentuk sempurna) setelah dilakukan beberapa kali pencampuran dengan berbagai komposisi. Komposisi bata tersebut menghasilkan kekuatan tekan 140 kg/cm^2 dan penyerapan 3,76% [12]. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, bata merah yang dihasilkan telah memenuhi kualitas dari segi kekuatan dan penyerapan air.

Namun, perlu diperhatikan bahwa bahan utama dari bata merah tersebut adalah plastik yaitu sebesar 51%, sedangkan plastik merupakan bahan yang sangat mudah mengalami perubahan baik bentuk maupun volume akibat peningkatan temperatur. Salah satu jenis plastik yaitu *polyethylene telephthalate* (PET) akan melunak pada temperatur 180^{o}C dan mencair sempurna pada temperatur 200^{o}C [13]. Bata plastik hasil pengepresan jenis *polyethylene telephthalate* setelah dilakukan pengujian memiliki titik leleh pada temperatur 276 ^{o}C [14]. Batako ringan dengan campuran batu apung dan limbah plastik menunjukkan bahwa plastik jenis *low density polyethylene* (LDPE) lebih baik dari segi kekuatan tekan dan densitas dibandingkan dengan plastik jenis *polypropylene* (PP) dan *high density polyethylene* (HDPE) [15]. Sedangkan batako dengan campuran plastik jenis PP dengan jerami memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan jenis plastik PET dan HDPE dengan jerami [16].

Berdasarakan hal tersebut, bata dengan bahan utama limbah plastik berpotensi mengalami perubahan bentuk akibat peningkatan temperatur yang cukup tinggi seperti pada saat terjadi kebakaran. Temperatur pada saat terjadi kebakaran bisa mencapai 300-600^{o}C bahkan pada saat terjadi pembakaran penuh bisa mencapai 1200^{o}C. Mengingat bahwa pengaplikasian bata adalah sebagai bahan untuk pasangan dinding maka perlu diketahui seberapa kuat bata berbahan dasar limbah plastik mempertahankan bentuknya terhadap perubahan temperatur yang tinggi seperti pada saat kebakaran.

Pada beton, kekuatan tekan akan berubah-ubah pada saat terjdai kebakran tergantung pada durasi terjadinya kebakaran [17]. Salah satu penentu ketahanan beton bertulang terhadap api pada saat terjdai kebakaran adalah ketebalan selimut beton [18]. Senyawa silica yang merupakan unsur utama pembentuk beton merupakan penentu kekuatan beton bias terurai pada temperature >1000^{o}C [19]. Baja tahan api yang merupakan salah satu material yang sering digunakan sebuah konstruksi dapat bertahan sampai batas tidak melebihi 600^{o}C [20].

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau tingkat ketahanan api dinding pasangan bata berbahan dasar limbah plastik, tanah laterit, dan sekam padi dari penelitian sebelumnya terhadap peningkatan temperatur yang tinggi sperti pada saat terjadi kebakaran. Dengan diketahuinya sifat bata berbahan

dasar limbah plastik terhadap peningkatan temperatur maka pengaplikasiannya terhadap bangunan dapat lebih disesuaikan.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

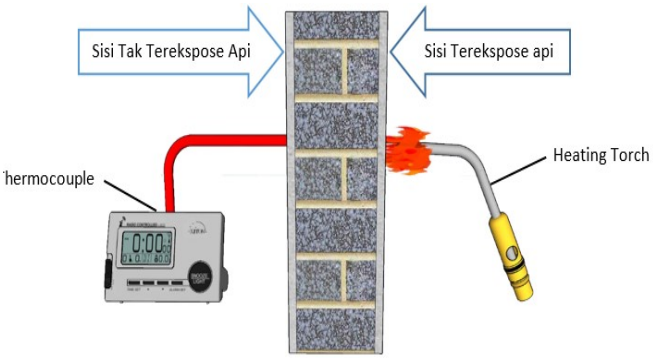
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja. Untuk pengambilan bahan sampah plastik, tanah laterit, dan sekam padi, dilakukan pada beberapa lokasi yang memiliki potensi kuantitas yang cukup untuk penelitian.

B. Variabel Penelitian

Tingkat ketahanan api berdasarkan SNI 1741-2008 dinyatakan sebagai lamanya waktu benda uji memenuhi kriteria kinerja yang relevan, dalam satuan menit. Terdapat tiga kriteria kinerja sebagai parameter tingkat ketahanan api dalam penelitian ini yaitu stabilitas, integritas, dan insulasi. Stabilitas merupakan kemampuan benda dari suatu komponen pemikul beban untuk mendukung beban ujinya seperti yang disyaratkan, tanpa melebihi kriteria yang ditetapkan berkenaan dengan tingkat dan laju deformasi. Integritas adalah kemampuan elemen pemisah konstruksi bangunan ketika diekspos ke api pada satu sisi untuk menjaga jangan sampai nyala api dan gas panas terjadi pada sisi tak terekspos. Insulasi adalah kemampuan elemen pemisah konstruksi bangunan ketika diekspos ke api pada satu sisi untuk membatasi kenaikan temperatur pada sisi tak terekspos di bawah level tertentu.

C. Model yang Digunakan

Pengujian tingkat ketahanan api dilakukan berdasarkan SNI 1741-2008 yang dimodifikasi dengan menggunakan alat pembakaran. Model penelitian yang digunakan seperti ditunjukkan Gambar 1 berbentuk dinding pasangan bata berukuran tinggi 1060 mm x lebar 1050 mm yang diplester dengan mortar setebal 1,5 cm. Dinding tersebut kemudian diberi pemanasan pada satu sisi (sisi terekspos api), sedangkan sisi lainnya tidak diberikan pemanasan. Pada sisi tidak terekspos api dipasang Termokopel untuk memonitoring temperatur. Stabilitas dan integritas pada benda uji diamati secara visual, sedangkan insulasi dimonitoring dengan Termokopel dan bantuan *Thermogun*.

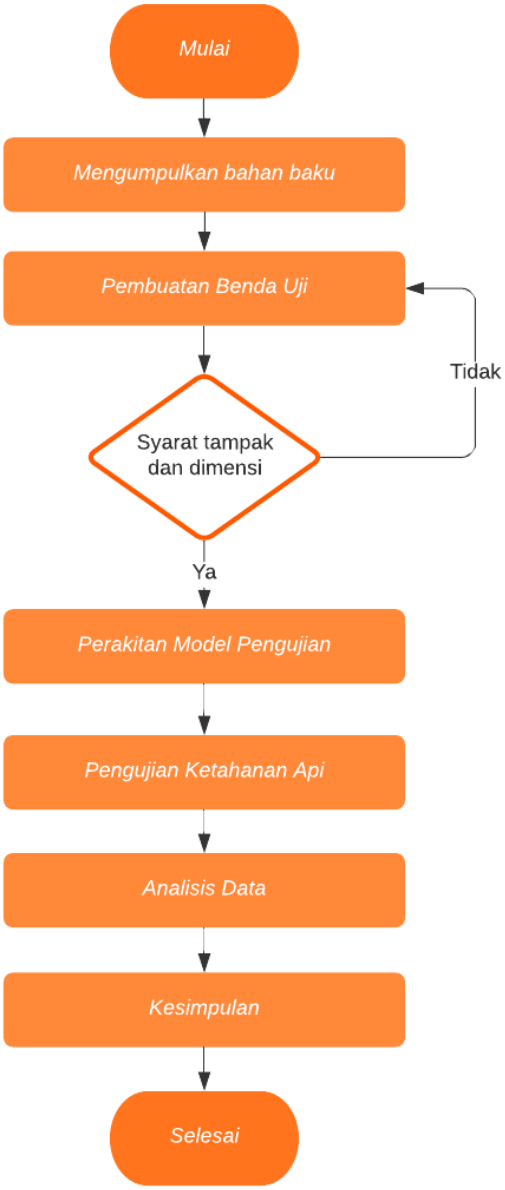


Gambar 1. Model pengujian

D. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2 dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Bahan
   Penelitian ini diawali dengan mengumpulkan semua bahan yang diperlukan untuk pembuatan benda uji bata yaitu limbah plastik, tanah laterit, dan sekam padi.
2. Pembuatan Benda Uji
   Benda uji dibuat sesuai dengan komposisi penelitian sebelumnya yaitu 51% limbah plastik, 41% tanah laterit dan 8% sekam padi. Tahap ini dimulai dengan memanaskan limbah plastik pada wajan hingga meleleh kemudian segera setalah itu dicampur dengan tanah laterit dan sekam padi. Setelah semua telah tercampur dengan baik, benda uji kemudian dicetak sesuai dengan ukuran standar [12].
3. Uji Syarat Tampak
   Setelah benda uji dibentuk, kemudian dilakukan pengujian terhadap syarat tampak serta ukuran benda uji sesuai dengan SNI 15-2094-2000. Apabila terdapat benda uji yang tidak sesuai maka benda uji tersebut tidak digunakan untuk pengujian selanjutnya.
4. Pengujian Ketahan Terhadap Api
   Bata yang telah dibuat dan lolos uji syarat tampak kemudian disusun membentuk dinding dengan ukuran standar pengujian. Benda uji diberikan pembakaran pada satu sisi dengan LPG *heating torch*. Termokopel dipasang pada beberapa titik dinding yang tidak terekspos api. Dinding diamati secara visual untuk melihat perubahan stabilitas dan integritas.
5. Pengumpulan Data
   Pada saat dilakukan pembakaran, temperatur dicatat setiap selang waktu 10 menit. Lamanya waktu benda uji memenuhi kriteria kinerja stabilitas, intergitas dan insulasi dicatat sebagai nilai tingkat ketahanan api.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan selama 180 menit dengan membakar satu sisi dinding (sisi terekspose api) dengan menggunakan empat buah *heating torch* seperti ditunjukkan Gambar 3. Pada bagian terekspose api, temperatur diukur dengan menggunakan *Thermogun*. Pada bagian tidak terekspose api dipasang lima buah Termokopel untuk memonitoring temperature seperti ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 3. Pengujian sisi terekspose api



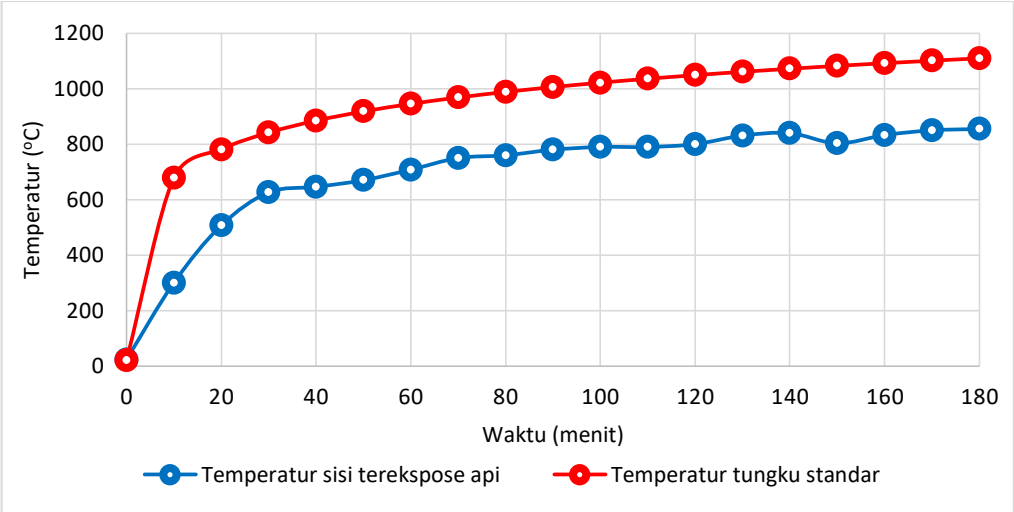
Gambar 4. Pengujian sisi tidak terekspose api

Temperatur pada sisi terekspose api dan sisi tidak terekspose api dicatat setiap 10 menit dan juga mengamati kondisi fisik dari benda uji bila terjadi perubahan. Data hasil pengamatan selama pengujian disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pada sisi terekspose api kenaikan temperatur dari awal pengujian sampai selesai adalah 832^{o}C, sedangkan pada sisi tidak terekspose api kenaikan temperature rata-rata 61^{o}C dengan kenaikan temperatur maksimum 70,8^{o}C. Pada menit ke-60 terjadi retakan pada sisi terekspose api sehingga api menembus plesteran dan bata terbakar pada menit ke-70.

Tabel 1. Temperatur kedua sisi benda uji selama pengujian

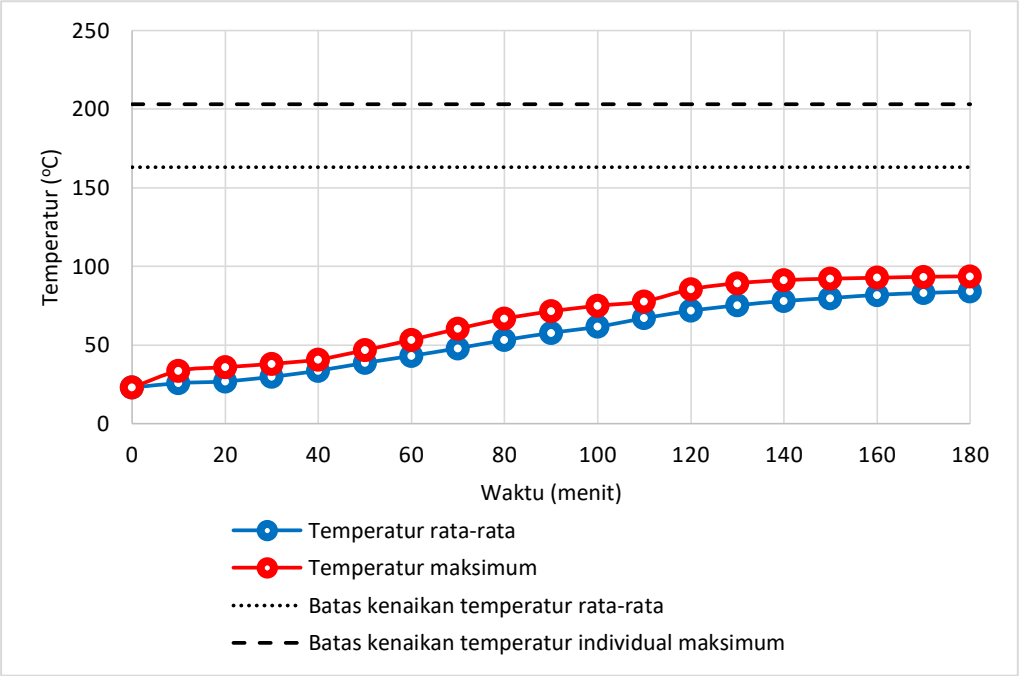
Waktu (menit)	Temperatur sisi terekspose api (°C)	Temperatur sisi tidak terekspose api (°C)					Pengamatan visual
		TC 1	TC 2	TC 3	TC 4	TC 5	
0	23	23,1	22,9	23,0	23,0	23,1	
10	300	33,7	23,1	25,9	23,3	23,3	
20	507	36,0	24,7	27,0	23,5	23,7	
30	626	38,1	32,1	29,9	24,3	25,0	
40	646	40,9	40,0	33,8	26,4	27,8	
50	670	46,8	46,7	38,7	29,9	31,5	
60	708	53,4	51,5	43,2	33,1	34,7	terjadi retak
70	750	60,4	56,4	48,0	36,4	38,9	bata terbakar
80	760	66,8	60,8	53,2	40,6	44,6	
90	780	71,5	64,0	57,8	45,2	50,3	
100	790	75,0	67,6	61,7	49,5	54,6	
110	790	77,8	77,3	67,1	55,0	58,2	
120	800	81,3	85,5	71,8	60,0	60,5	
130	831	84,6	89,3	75,3	64,7	62,6	
140	840	87,1	91,3	78,0	68,5	65,2	
150	803	88,5	92,2	79,9	71,2	67,7	
160	833	90,5	92,8	81,9	73,9	70,5	
170	850	91,1	93,4	83,1	75,5	72,5	
180	855	91,4	93,7	84,1	76,6	74,5	



Gambar 5. Grafik temperatur pembakaran

Gambar 5 menunjukkan bahwa temperatur pembakaran yang dilakukan selama pengujian tidak sama persis dengan temperatur tungku standar sesuai dengan SNI namun bentuk *trendline* kenaikan temperatur antara tungku standar dengan pengujian yang dilakukan hampir mirip. Perbedaan ini disebabkan karena alat yang digunakan berbeda dan juga pengujian dilakukan di tempat terbuka sehingga temperatur ambien mempengaruhi pengujian.

Gambar 6 menunjukkan bahwa kenaikan temperatur rata-rata pada sisi tidak terekspose api selama 180 menit pengujian berada di bawah batas temperatur rata-rata yang diizinkan dan juga batas kenaikan temperature individual maksimum yang diizinkan. Kenaikan temperatur rata-rata pada sisi tidak terekspose api sebesar 61°C dari temperatur awal sedangkan kenaikan temperatur rata-rata yang diizinkan adalah 140°C dari temperatur awal. Kenaikan temperatur individual maksimum pada sisi tidak terekspose api sebesar 70,8°C dari temperatur awal sedangkan kenaikan temperatur maksimum yang diizinkan adalah 180°C dari temperatur awal.



Gambar 6. Temperatur sisi tidak terekspose api



Gambar 7. Kondisi akhir sisi terekspose api

Gambar 7 menunjukkan kondisi akhir dari dinding bata berbahan dasar limbah plastik. Pada saat akhir pengujian, plesteran mortar dibongkar kemudian diamati seccara visual kondisi fisik dari bata. Seperti terlihat pada Gambar 7, hampir setengah bagian dari bata mengalami kerusakan. Hal ini disebabkan karena bata terbakar sehingga bahan plastik dalam bata terurai dan tersisa bahan lain yang tidak bisa saling mengikat berbentuk debu hasil pembakaran.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dinding pasangan bata berbahan dasar limbah plastik tidak mampu mempertahankan integritasnya. Oleh karena itu penggunaan bata berbahan dasar plastik pada bangunan khususnya yang sangat rentan untuk mengalami kebakaran tidak disarankan. Penggunaan bata berbahan dasar plastik sebaiknya digunakan pada bangunan yang potensi mengalami kebakaran sangat kecil seperti dinding pagar.

Karena lebih dari 50% bahan dari bata tersebut adalah plastik dan kemudian pasca pengujian plastik tersebut mengalami perubahan bentuk bahkan menjadi debu setelah kandungan plastiknya menguap. Maka untuk meningkatkan integritas dari dinding pasangan bata tersebut dapat dilakukan dengan mengurangi persentasi jumlah plastik yang digunakan pada setiap bata ataupun menambah ketebalan plesteran dari dinding tersebut. Pengurangan persentase plastik dalam komposisi bata tersebut dapat diharapkan ketika terjadi peningkatan temperatur dan berakibat plastik tersebut meleleh atau bahkan menguap, maka volume dari bata tidak akan berkurang banyak. Penambahan ketebalan plesteran dapat menahan laju peningkatan temperatur pada bata sehingga bata tidak mengalami temperatur yang tinggi yang dapat merusak komoposisi bata tersebut.

IV. KESIMPULAN

Analisis tingkat ketahanan dinding bata berbahan dasar limbah plastik terhadap kebakaran telah berhasil dilakukan pada penelitian ini. Setelah dilakukan pengujian selama 180 menit, kriteria kinerja dinding bata berbahan dasar limbah plastik

diperoleh stabilitas tidak diperhitungkan karena dinding merupakan komponen non structural. Pada variable integritas, terjadi retak pada menit ke-60 sehingga api membakar sebagian dari bata dan terurai. Variabel insulasi menunjukkan selama 180 menit pengujian kenaikan temperatur pada sisi tidak terekspose api rata-rata 61^{o}C (maksimum 140^{o}C) dan kenaikan temperatur maksimum 70,8^{o}C (maksimum 180^{o}C). Berdasarkan kriteria kinerja tersebut dapat disimpulkan bahwa dinding bata berbahan dasar limbah plastik dengan kedua sisi diplester dinyatakan dalam ketahanan stabilitas/integritas/insulasi dalam satuan menit tidak memenuhi syarat Tingkat Ketahanan Api (TKA) dengan nilai -/60/180 sesuai dengan SNI 1741:2008. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan studi eksperimental dengan variasi ketebalan plesteran dan mencari tahu ketebalan yang paling efisien untuk dinding dengan pasangan bata dari bahan dasar limbah plastik sehingga perubahan temperatur yang tinggi tidak mempengaruhi integritas dari dinding tersebut. Selain itu dapat juga dilakukan pemilahan jenis plastik yang digunakan karena setiap jenis plastik memiliki titik leleh yang berbeda-beda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada UKI Toraja yang telah mendanai penelitian ini melalui program Penelitian Kompetitif Internal skema Penelitian Dasar.

REFERENSI

[1] S. S. Riskijah, "Efisiensi Penggunaan Dinding Precast Dibandingkan dengan Dinding Bata Merah dan Hebel," *Prokons J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 103–112, 2012.

[2] F. Komarudin, "ANALISIS PRODUKSI BATAKO DARI BAHAN BAKU PLASTIK UNTUK MEMINIMALKAN PENCEMARAN LINGKUNGAN," *PhD Thesis*, Universitas Islam Majapahit, 2020.

[3] D. Ardiatma, P. A. Sari, and E. S. Maharani, "Analisis Pemanfaatan Limbah Plastik Jenis Styrofoam Sebagai Bahan Baku Pembuatan Batako," in *Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Unjani Expo (Unex)*, 2020, vol. 1, no. 1, pp. 31–36.

[4] R. S. Ramadhani, "ANALISIS TEKNO EKONOMI PENGELOLAAN SAMPAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BATA PLASTIK," *Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau*, 2020.

[5] H. Harpito, I. Kusumanto, Y. B. Ananda, N. Novirza, and S. Silvia, "Pemanfaatan Limbah Plastik dan Kaca sebagai Pembuatan Bata Plastik yang Ramah Api," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 10, no. 1, pp. 101–112, 2021.

[6] Yohanto, "Uji batu bata berbahan dasar sampah plastik." *INA-Rxiv*, Jul. 15, 2019.

[7] L. Ni'mah, I. Syauqiah, A. Mirwan, D. R. Wicakso, and H. Wijayanti, "BATAKO DARI LIMBAH BOTOL PLASTIK: TINJAUAN KUAT TEKAN," *AL ULUM J. SAINS DAN Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 26–29, 2019.

[8] O. Meri, "PENGARUH PENGGUNAAN CAMPURAN PLASTIK TIPE PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) PADA KUAT TEKAN BATU BATA," *PhD Thesis*, Universitas Andalas, 2021.

[9] M. R. Reksi, "PERBANDINGAN KUAT TEKAN BATA PLASTIK BERJENIS POLYPROPYLENE (PP) POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DAN HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)," *J. Teknol. Lingkung. Lahan Basah*, vol. 9, no. 1, pp. 019–029, 2021.

[10] N. Nastain and A. Maryoto, "Tingkat Ketahanan Api Batako Ban Bekas untuk Material Dinding Bangunan," *J. Tek. Sipil ITB*, vol. 25, no. 2, pp. 167–172.

[11] T.-D. Nguyen and F. Meftah, "Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: Experimental analysis," *Fire Saf. J.*, vol. 52, pp. 55–64, 2012.

[12] M. L. Parura, E. A. RD, and R. O. Tarru, "PEMANFAATAN LIMBAH SEBAGAI MATERIAL BATA MERAH PEJAL," in *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*, 2019, pp. 171–176.

[13] I. Okatama, "Analisa Peleburan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terphtalate (PET) Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik," *J. Tek. Mesin JTM*, vol. 5, no. 3, p. 110, 2016.

[14] W. Trisnadi Putra, M. Munaji, and M. Malyadi, "Analisa Kekuatan Maksimal bata plastik hasil pengepresan jenis Polyethelene Terephthalate," *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*, 2015.

[15] S. A. Rohman, M. Ibadurrahman, and D. Dharmawansyah, "ANALISIS PENGARUH JENIS PLASTIK TERHADAP DENSITAS DAN KUAT TEKAN PADA BATAKO RINGAN BERBAHAN LIMBAH PLASTIK DAN BATU APUNG," *Hexag. J. Tek. Dan Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 57–65, 2020.

[16] E. SAPUTRA, R. H. Purnomo, and E. A. Kuncoro, "PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN BATAKO PLASTIK," *PhD Thesis, Sriwijaya University*, 2020.

[17] F. R. Atmaja, D. Triana, and R. Ujianto, "Struktur Beton Pasca Kebakaran Terhadap Kuat Tekan Dan Karakteristik Beton," *J. CIVTECH Tek. Sipil Univ. Serang Raya*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2017.

[18] F. S. Herlambang and I. K. Sudiarta, "Kuat tekan beton pasca kebakaran pada struktur beton bertulang di Pasar Seririt, Buleleng, Bali," *Log. J.*

Ranc. Bangun Dan Teknol., vol. 15, no. 1, p. 23, 2017.

[19] L. Lukman, "SENYAWA BARU PASCA KEBAKARAN PENYEBAB RAPUHNYA BETON BERTULANG," *METANA*, vol. 4, no. 1.

[20] K. J. Priyanto, "Ketahanan Elemen Struktur Terhadap Kebakaran," *J. Tek. Sipil Dan Arsit.*, vol. 7, no. 11, 2010.