

Pengaruh Penggantian Sebagian Agregat Halus dengan Limbah Plastik Terhadap Berat Jenis, Kuat Tekan dan Nilai Ekonomis pada Bata Ringan

Fevandha Claudhio Putra I¹, A.G Tamrin², Kundari Rahmawati²

Email : claudhiop@student.uns.ac.id

Diterima : 20 Oktober 2023
Disetujui : 30 Desember 2023
Terbit : 31 Desember 2023

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk: 1) menganalisis pengaruh penggantian sebagian agregat halus dengan limbah PET bata ringan *celluler lightweight concrete* (CLC). 2) Untuk mengetahui nilai ekonomis yang dihasilkan dari penggunaan variasi limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat halus. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Variabel pada penelitian ini adalah (1) variabel bebas: variasi serbuk limbah plastik PET. (2) variabel terikat: nilai berat jenis, kuat tekan dan nilai ekonomis bata ringan dengan variasi penggantian agregat halus (pasir) dengan limbah PET. (3) variabel kontrol: nilai berat jenis, kuat tekan dan nilai ekonomis bata ringan normal. Benda uji berupa bata ringan CLC dengan ukuran 600 mm x 200 mm x 100 mm. Hasil penelitian ini sebagai berikut: nilai berat jenis terbesar terdapat pada variasi 15% PET yaitu sebesar 1280,4 kg/m³. Nilai kuat tekan maksimum terdapat pada variasi 20% PET yaitu sebesar 1,1084 Mpa. Nilai berat jenis keseluruhan variasi dalam penelitian ini termasuk kedalam klasifikasi bata ringan dengan nilai berat jenis 1300 kg/m³. Perhitungan harga pembuatan bata ringan normal sebesar Rp 15.423,00. Nilai ekonomis bata ringan yang terendah terdapat pada variasi 12,5% PET sebesar Rp 23.981,00.

Kata Kunci: bata ringan; berat jenis; *celluler lightweight concrete*; limbah PE; kuat tekan

Abstract: This study aims to: 1) analyze the effect of partially replacing fine aggregate with PET waste *cellular lightweight concrete* (CLC). 2) To find out the economic value resulting from the use of various PET plastic wastes as a substitute for some fine aggregates. This research is an experimental research. The variables in this study were (1) independent variables: variations in PET plastic waste powder. (2) the dependent variable: specific gravity, compressive strength and economic value of lightweight bricks with variations in the replacement of fine aggregate (sand) with PET waste. (3) control variables: specific gravity, compressive strength and economic value of normal lightweight bricks. The test object is a lightweight CLC brick with a size of 600 mm x 200 mm x 100 mm. The results of this study are as follows: the highest specific gravity value is found in the 15% PET variation, which is 1280.4 kg/m³. The maximum compressive strength value is found in the 20% PET variation, which is 1.1084 MPa. The overall specific gravity value of the variation in this study is included in the light brick classification with a specific gravity value of 1300 kg/m³. Calculation of the price of making normal lightweight bricks is IDR 15,423.00. The lowest economic value of light brick is found in the 12.5% PET variation of IDR 23,981.00.

Keywords: *cellular lightweight concrete*; compressive strength; lightweight brick; PET waste; specific gravity

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret Surakarta

PENDAHULUAN

Letak geografis Indonesia yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik tersebut mengakibatkan Indonesia menjadi daerah

rawan gempa (Suharjanto, 2013). Gempa bumi menjadi ancaman serius karena datangnya tiba-tiba dan bisa menyerang daerah padat penduduk. Sebagian korban

yang terkena dampak gempa bisa disebabkan karena buruknya konstruksi hunian dan infrastruktur. Oleh karena itu perlu untuk membuat konstruksi hunian yang baik agar dapat mencegah timbulnya korban dan kerugian yang lebih besar. Seperti diketahui, semakin besar massa bangunan, semakin besar gaya inersia internal yang dihasilkan. Massa yang lebih besar menghasilkan gaya lateral yang lebih besar, sehingga meningkatkan kemungkinan kegagalan struktur. Oleh karena itu, konstruksi ringan dengan massa kecil sangat baik dalam pembangunan yang berdasarkan pada desain seismik. Dinding akan berpengaruh terhadap konstruksi saat terjadi gempa karena beratnya dan menjadi ancaman resiko.

Dinding merupakan salah satu elemen bangunan yang berfungsi memisahkan dan membentuk ruangan. Fungsi lain dari dinding yaitu sebagai peredam suara, melindungi bagian dalam bangunan. Dinding merupakan salah satu struktur bangunan yang berfungsi untuk melindungi penghuni dari serangan hewan buas, angin, panas matahari maupun hujan. Pembuatan dinding biasanya menggunakan batu bata merah, batako, papan, atau triplek (Handayani, 2010). Bata merah akan menjadikan bangunan tersebut berat bila terkena guncangan. Perlu bahan bangunan yang ringan dengan salah satunya menggantikan bata merah dengan bata ringan. Bata ringan adalah bahan bangunan yang fungsinya sama dengan batu bata merah untuk membuat dinding. Dari luar, material bahan baku bata ringan menyerupai beton pada umumnya tetapi bobotnya lebih ringan. Batu bata ringan mempunyai permukaan halus dan memiliki tingkat kerataan permukaan yang baik. Batu bata ringan diciptakan dengan tujuan memperringan beban struktur dari sebuah bangunan konstruksi, mempercepat pelaksanaan, serta meminimalisasi sisa material yang terjadi pada saat proses pemasangan dinding berlangsung.

Bata ringan tipe CLC adalah beton selular yang mengalami proses *curing* secara alami. Bata ringan CLC mirip beton konvensional tetapi agregat kasar (kerikil) digantikan oleh udara, prosesnya menggunakan busa organik yang sangat stabil dan tidak ada

reaksi kimia ketika proses pencampuran adonan (Kristanti & Tansajaya, 2008). Manfaat dan keuntungan menggunakan CLC antara lain penghematan biaya, penyelesaian pekerjaan yang lebih cepat, aplikasi yang mudah dibandingkan dengan bahan lain seperti batu bata dan bata beton. Bata CLC juga dikenal sebagai bahan yang ramah lingkungan. Untuk membuat produk bata CLC tidak memerlukan banyak energi dan hanya sedikit menghasilkan polusi jika dibandingkan dengan produksi bata merah biasa (Krishna, 2012). Karakteristik bata CLC ditandai dengan kuat tekan kecil dan mempunyai sifat isolasi yang baik terhadap panas serta suara. Sehingga CLC lebih cocok digunakan sebagai salah satu komponen non struktur seperti untuk dinding atau pembatas ruangan. Jumlah kandungan udara dalam bata CLC ditentukan oleh jenis foam agent yang digunakan. Oleh karena itu jenis foam agent sangat mempengaruhi sifat fungsional dan kuat tekan bata CLC (Nagesh, 2016).

Limbah plastik merupakan masalah yang sangat sering di jumpai di daerah perkotaan maupun pedesaan. Penggunaan plastik dalam setiap tahunnya akan terus mengalami peningkatan karena produk makanan, minuman semuanya menggunakan bahan yang terbuat dari plastik. Namun plastik yang dimaksud adalah plastik yang susah berkontaminasi dengan tanah atau biasa disebut dengan limbah anorganik, yang sulit hancur dengan sendirinya. Hal inilah yang menyebabkan jumlah sampah plastik pun ikut bertambah. Oleh karena itu, untuk mengurangi limbah ini maka volume limbah ini dimanfaatkan dalam pembangunan. Untuk itu penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan agregat limbah plastik terhadap bata ringan.

Salah satu alternatif daur ulang plastik yang menarik adalah penggunaan limbah plastik sebagai campuran semen untuk menghasilkan komposit semen plastik dan sebagai agregat beton untuk menghasilkan bahan konstruksi. Plastik mempunyai karakteristik penting yang dapat dimanfaatkan baik secara sendiri atau komposit sebagai bahan konstruksi, yaitu seperti tahan lama, tahan korosi, isolator yang baik untuk dingin,

panas, dan suara, penghematan energi, ekonomis, memiliki umur pakai yang panjang, dan ringan (Batayneh, et.al., 2007; Jassim, 2017). Daur ulang limbah plastik merupakan penggerak kegiatan ekonomi berbasis sirkular. Model ekonomi sirkular bertujuan untuk memperpanjang masa pakai sampah menjadi sesuatu yang berdaya guna dan dimanfaatkan kembali (Anggreani, 2021). Penggunaan plastik untuk bahan konstruksi dapat meningkatkan elastisitas dan daya tahan serta menurunkan densitas sehingga bahan menjadi lebih ringan. Selain itu penggunaan limbah plastik juga diharapkan adanya alternatif solusi dalam penanganan dan pemanfaatan limbah plastik guna mencegah terjadinya pencemaran lingkungan

Tujuan penelitian ini adalah (1) Untuk mengetahui pengaruh variasi limbah plastik sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap nilai berat jenis dan kuat tekan bata ringan; (2) Untuk mengetahui berapakah persentase optimal variasi limbah plastik sebagai pengganti sebagian agregat halus untuk mencapai nilai optimal berat jenis dan kuat tekan; (3) Untuk mengetahui nilai ekonomis bata ringan dengan penggantian agregat halus dengan limbah plastik.

LANDASAN TEORI

Secara definitif Bata ringan merupakan bata beton yang memiliki densitas lebih ringan dari pada bata beton pada umumnya. Ada yang mendefinisikan sebagai bata yang memiliki densitas antara 2000 kg/m³ atau lebih rendah serta ditunjang dengan nilai serapan maksimum 25% (Suryani, 2015). Keunggulan utama bata ringan terdapat pada berat sendirinya yang kecil, sehingga apabila digunakan pada proyek bangunan tinggi akan mengurangi beban bangunan itu sendiri. Secara umum terdapat 2 macam jenis bata ringan yaitu *Aerated Lightweight Concrete* (ALC) atau juga sering disebut *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Bata ringan AAC adalah beton selular yang gelembung udaranya dihasilkan reaksi kimia, yaitu ketika bubuk aluminium atau aluminium pasta mengembang seperti pada proses pembuatan

roti saat penambahan ragi untuk mengembangkan adonan. Sedangkan bata ringan CLC adalah bata selular yang mengalami proses perawatan secara alami. Dalam proses pengerjaan CLC digunakan busa organik yang sangat stabil dan ketika proses pencampuran adonan tidak ada reaksi kimia.

Cellular Lightweight Concrete (CLC) merupakan salah satu teknologi beton aerasi yang dapat dikembangkan sebagai suatu usaha kecil dan menengah. Bata CLC memiliki karakteristik yang ringan dan baik untuk digunakan sebagai komponen non struktural seperti pada dinding bangunan. Sebagai usaha baru di pasar, bata CLC perlu dilakukan analisis tekno-ekonomi bata CLC sebagai pengganti bata konvensional berdasarkan proyek percontohan yang telah dilakukan. Dari proyek percontohan diperoleh produk CLC yang memenuhi standar persyaratan dengan nilai kerapatan 900-1000 kg/m³ dan kuat tekan sebesar 2.9 - 3.85 MPa. Hasil analisa tekno-ekonomi menunjukkan kelayakan finansial dengan nilai pengembalian investasi (ROI) sebesar 13.10%. Perbandingan biaya pekerjaan per meter persegi bata CLC juga menunjukan biaya yang lebih kompetitif bila dibandingkan dengan bata merah biasa. Oleh karena itu bata CLC layak dikembangkan sebagai peluang usaha.

Bata ringan dapat di golongankan dalam bata beton pejal karena bahan penyusun dan karakternya yang sama. Bata beton untuk pasangan dinding diklasifikasikan sesuai SNI 03-0349-1989 yang diuraikan sebagai berikut

- 1) Bata Beton Pejal mutu I
Bata beton pejal yang digunakan harus mempunyai kekuatan tekan rata-rata minimum 100 kg/cm².
- 2) Bata Beton Pejal Mutu II
Bata beton pejal yang digunakan harus mempunyai kuat tekan rata-rata 70 kg/cm².
- 3) Bata Beton Pejal Mutu III
Bata beton pejal yang digunakan harus mempunyai kuat tekan rata-rata 40 kg/cm².
- 4) Bata Beton Pejal Mutu IV

Bata beton pejal yang dipergunakan harus mempunyai kuat tekan rata-rata 25 kg/cm².

Foaming agent adalah suatu larutan pekat dari bahan sulfaktan, dimana apabila hendak digunakan harus dilarutkan dengan air. Dengan membuat gelembung-gelembung gas/udara dalam adukan semen. Dengan demikian akan terjadi banyak pori-pori udara didalam bata (Sri. L, 2015).

Ada 2 macam *foaming agent* yaitu:

- i. Bahan sintetis dengan kepadatan diatas 1000 kg/m³
- ii. Bahan protein dengan kepadatan 400-1600 kg/m³

Workshop kayu merupakan salah satu komponen pendukung dalam melaksanakan proses belajar mengajar yang efektif dalam upaya meningkatkan kualitas pembelajaran dan pendidikan pada umumnya yang pada akhirnya dapat meningkatkan mutu lulusan yang optimal. Program studi Pendidikan Teknik Bangunan memiliki berbagai macam fasilitas seperti laboratorium dan *workshop*, salah satunya *workshop* kayu.

Limbah plastik merupakan sesuatu yang membahayakan lingkungan karena tidak dapat diurai jika ditimbun di tanah. Selain mencemari lingkungan akan dapat mengakibatkan banjir jika dibuang di sungai. Karena plastik bukan dari senyawa biologis, maka memiliki sifat sulit terdegradasi (*non-biodegradable*). Dibutuhkan 100 hingga 500 tahun agar plastik dapat terdekomposisi (terurai) dengan sempurna. Sebagian penduduk di dunia memanfaatkan plastik dalam menjalankan aktivitasnya. Berdasarkan data *Environmental Protection Agency* (EPA) Amerika Serikat pada tahun 2001 saja penduduk Amerika sedikitnya menggunakan 25 juta ton plastik setiap tahunnya. Itu belum di negara-negara lain yang tentunya juga hampir sama, maka tidak mengherankan jika plastik banyak digunakan. Beberapa orang memanfaatkan plastik bekas untuk di daur ulang, seperti untuk bijih plastik dan seterusnya. Ada juga yang memanfaatkannya sebagai mainan anak-anak atau sesuatu yang kreatif bernilai komersial. Sebagai seorang yang berlatar belakang Teknik Sipil mempunyai gagasan lain yang tentunya

melirik kepada unsur pembangunan. Hal inilah yang membuat inisiatif bagaimana jika limbah tersebut dimanfaatkan sebagai sesuatu yang bermanfaat dalam dunia proyek (Supratikno, 2019). Ketua Umum Asosiasi Daur Ulang Plastik Indonesia (ADUPI) Christine Halim mengatakan sampah plastik PET (polyethylene terephthalate) sangat diminati industri daur ulang di seluruh dunia. Tingginya peminat sampah PET lantaran *recycle content* menjadi tren saat ini Lembaga Sustainable Waste Indonesia (2018) menyatakan bahwa Indonesia dapat menghasilkan limbah PET rata-rata sebanyak 350.000 ton per tahun. Pemanfaatan limbah PET sebanyak 15% (1.026 gr) pada campuran batako, dianggap masih baik terhadap produk batako yang dihasilkan. Hal tersebut dapat diperkirakan potensi dari batako berbahan PET dalam mereduksi jumlah limbah PET yang ada di Indonesia. Potensi yang akan dianalisa ialah melalui berapa jumlah batako yang dibutuhkan untuk membangun sebuah rumah. Analisa dilihat berdasarkan tipe dari rumah itu sendiri. Sebelum menghitung kebutuhan batako untuk sebuah rumah, terlebih dahulu kita perlu mengetahui kebutuhan batako untuk per meter perseginya (m²) (Sahrul, 2019).

Nilai ekonomi adalah arti nilai yang ditempatkan seseorang pada barang ekonomi berdasarkan manfaat yang diperoleh dari barang tersebut. Hal ini sering diperkirakan berdasarkan kesediaan seseorang untuk membayar barang tersebut, biasanya diukur dalam satuan mata uang. Oleh karena itulah, adanya nilai ekonomi tidak boleh disamakan dengan nilai pasar, yaitu harga pasar untuk suatu barang atau jasa yang dapat lebih tinggi atau lebih rendah daripada nilai ekonomi yang diberikan orang tertentu atas suatu barang. Nilai ekonomi adalah bagian daripada sistem pengetahuan yang berguna dalam serangkaian proses menyelesaikan berbagai permasalahan tentang perekonomian khususnya sesuai dengan prinsip dan teori yang efektif serta efisien.

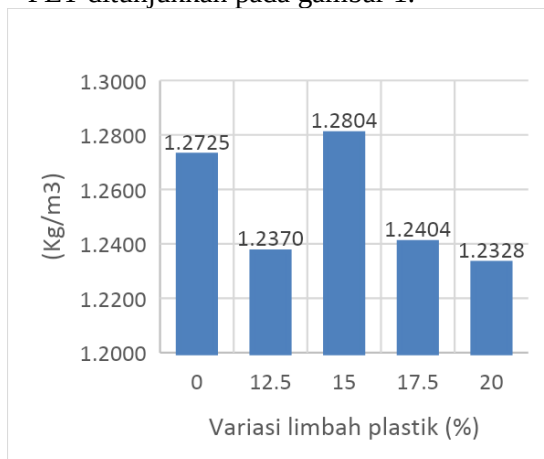
METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini adalah metode kuantitatif eksperimen yaitu dengan memberikan suatu gambaran mengenai perbandingan nilai berat jenis, dan kuat tekan bata ringan dengan penggunaan variasi limbah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat halus. Metode penelitian eksperimen digunakan untuk mengetahui adanya pengaruh dari suatu perlakuan dengan kondisi yang dikendalikan. Serta melakukan perbandingan harga antara bata ringan normal dengan bata ringan dengan menggunakan limbah plastik PET.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian Berat Jenis dan Kuat Tekan Bata Ringan

Setelah dilakukan pengujian berat jenis bata ringan CLC dengan penggantian sebagian agregat halus (pasir) dengan menggunakan limbah plastik PET, maka dapat ditentukan nilai berat jenis masing-masing variasi bata ringan CLC tersebut. Pengujian berat jenis bata ringan CLC menggunakan SNI 8640-2018 tentang spesifikasi bata ringan untuk pasangan dinding. Hasil pengujian berat jenis dengan variasi limbah plastik PET ditunjukkan pada gambar 1.

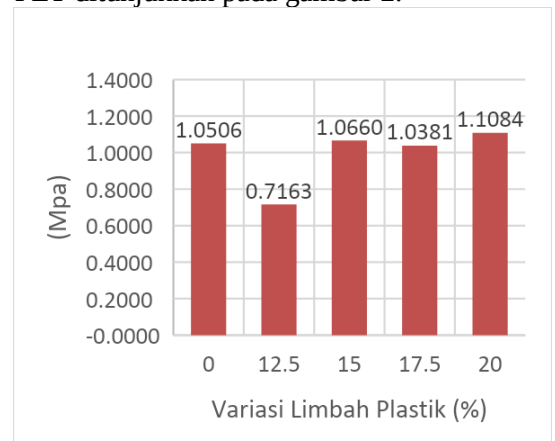


Gambar 1. grafik berat jenis bata ringan CLC umur 28 hari

Pengujian berat jenis bata ringan CLC umur 28 hari dengan curing suhu ruang, didapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan sampel pengujian yang dilakukan. Adapun hasil berat jenis rata-

rata bata ringan CLC dengan variasi limbah plastik 0%; 12,5%; 15%; 17,5%; dan 20% yaitu 1272,5 kg/m³; 1237,0 kg/m³; 1280,4 kg/m³; 1240,4 kg/m³; dan 1232,8 kg/m³. Gambar 1. menunjukkan peningkatan pada variasi 15% dan mengalami penurunan pada variasi 12%, 17,5%; dan 20% PET.

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan bata ringan CLC dengan penggantian sebagian agregat halus (pasir) dengan menggunakan limbah plastik PET, maka dapat ditentukan nilai kuat tekan masing-masing variasi bata ringan CLC tersebut. Pengujian kuat tekan bata ringan CLC menggunakan SNI 8640-2018 tentang spesifikasi bata ringan untuk pasangan dinding. Hasil pengujian berat jenis dengan variasi limbah plastik PET ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik kuat tekan bata ringan CLC umur 28 hari

Pengujian kuat tekan bata ringan CLC umur 28 hari dengan curing suhu ruang, didapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan sampel pengujian yang dilakukan. Adapun hasil daya serap rata-rata bata ringan CLC dengan variasi limbah plastik 0%; 12,5%; 15%; 17,5%; dan 20% yaitu 1,0506 Mpa; 0,7163 Mpa; 1,0660 Mpa; 1,0381 Mpa; dan 1,1084 Mpa. Nilai kuat tekan terbesar terdapat pada variasi 20% PET sebesar 1,1084 Mpa.

b. Perhitungan Biaya Pembuatan Bata Ringan

Harga satuan barang dan jasa mengacu pada Keputusan Walikota

Surakarta No. 050.05/21.7 Tahun 2022 tentang Standar Satuan Harga Tahun Anggaran 2023 yang selanjutnya disajikan pada tabel berikut:

Tabel 1. Harga Satuan Barang dan Jasa

No	Uraian	Satuan	Harga (Rp)
1	Pekerja	OH	71.00,00
2	Semen Portlands	Kg	1.325,00
3	Pasir	Kg	220,00
4	Air	Ltr	90,00
5	Foam	Ltr	41.000,00
6	Cetakan	Buah	1.300,00
7	Mixer	Jam	500,00

Tabel 1. sebagai acuan untuk mengetahui nilai ekonomis. Perlu diketahui harga dari pekerja per orangnya, harga bahan per satuannya dan harga alat yang digunakan. Perhitungan nilai ekonomis ditinjau dari Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Perhitungan analisis sesuai dengan SNI 7394:2008. Perhitungan analisis secara rinci terdapat pada Lampiran III. Secara singkat dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Harga Satuan Pekerja

Perhitungan Kebutuhan Bahan per Satu Bata Ringan Normal Ukuran 60 cm x 20 cm x 10 cm					
Ko de	Koef isien	Satuan A	Tena ga	Harga (Rp)	Total (Rp)
L. 01	0,035	OH	Peke rja	71,00	2.485
Jumlah Tenaga Kerja					2.485

Perhitungan Kebutuhan Bahan per Satu Bata Ringan Normal Ukuran 60 cm x 20 cm x 10 cm					
B	Bahan	Harga	Total		
4	Kg Semer Portlar d	1.325	5.300		
8	Kg Pasir	220	1.760		
0,06	Liter Foam	41.000	2.460		
2,4	Liter Air	90	216		
Jumlah Harga Bahan			9.736		
C	Peral atan	Harga	Total		
1	Buah Ceta kan	1.300	1.300		
1	Kapasit as 1 L/men it Mixer	500	500		
Jumlah Harga Peralatan			1.800		
Ko de	Koef isien	Satuan	Tena ga	Harga (Rp)	Total (Rp)
Jumla h A+B +C					14.021
Overh ead & Profit				10%	1.402
Harga Satuan Pekerja an (D+E)					15.423

Dari tabel diatas untuk mendapatkan harga satuan pekerjaan yaitu dengan cara mengalikan harga satuan barang atau jasa dengan koefisien yang ditentukan. Untuk perhitungan biaya pembuatan bata ringan normal diperoleh harga satuan pekerjaan sebesar Rp 15.423,00. Berikut ini

merupakan perhitungan keseluruhan variasi bata ringan:

Tabel 3. Perhitungan Biaya Pembuatan Bata Ringan

No	Variasi	Biaya
1	0%	Rp15.423
2	12,5%	Rp23.981
3	15%	Rp28.332
4	17,5%	Rp30.484
5	20%	Rp34.141

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- Variasi penambahan limbah plastik mempengaruhi nilai kuat tekan bata ringan. Uji tersebut mengalami naik turun, nilai kuat tekan terbesar terdapat pada bata ringan dengan variasi 20%, sedangkan terkecil terdapat 12,5%.
- Variasi penambahan limbah plastik mempengaruhi nilai berat jenis bata ringan. Uji tersebut mengalami naik turun, nilai berat jenis terbesar terdapat pada bata ringan dengan variasi 15%, sedangkan terkecil terdapat 20%.
- Penggantian agregat halus (pasir) dengan limbah plastik PET menghasilkan kenaikan harga bata ringan. Biaya pembuatan paling rendah pada persentase 12,5% PET yaitu sebesar Rp23.981.

2. Saran

- Perlu dipelajari dan dikaji lebih mendalam mengenai pengganti sebagian agregat halus dengan limbah plastik pada bata ringan seperti komposisi pada saat perencanaan *mix design*.
- Pada saat proses pembuatan benda uji diperlukan cetakan yang sesuai dengan standar pengujian.
- Meminimalisir biaya pengolahan limbah PET menjadi serbuk agar dapat mengurangi biaya pembuatan

Limbah Potong Batu Marmer Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Teknovasi J. Tek. dan Inov*, 4, 27-39.

Handayani, S. (2010). Kualitas Batu Bata Merah Dengan Penambahan Serbuk Gergaji. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 12(1), 41-50.

Jassim, A. K. (2017). Recycling of polyethylene waste to produce plastic cement. *Procedia manufacturing*, 8, 635-642.

Kristanti, N., & Tansajaya, A. (2008). Studi Pembuatan Cellular Lightweight Concrete (CLC) dengan Menggunakan Beberapa Foaming Agent. *Skripsi, Tidak dipublikasikan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Petra Surabaya*.

Modestus, M., Sutandar, E., & Samsurizal, E. (2017). *Uji Individu Bata Ringan dengan Foam Agent Berdasarkan Variasi Ukuran Pasir* (Doctoral dissertation, Tanjungpura University).

Mustapure, N. (2016). A study on cellular light weight concrete blocks. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5.

Nugroho, A., Triastuti, T., Sumarno, A., & Widodo, E. (2018). Studi tekno-ekonomi bata CLC (Cellular Lightweight Concrete) sebagai pengganti bata konvensional. *Rekayasa Sipil*, 7(1), 55-62.

Pah, J. J., Uly, P. S., & Widodo, T. (2020). Pengaruh Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan, Berat, Dan Serapan Air Bata Ringan Clc. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 81-92.

Pratomo, I. (2006). *Klasifi kasi gunung api aktif Indonesia, Studi kasus dari beberapa letusan gunung berapi dalam sejarah*, 209.

DAFTAR PUSTAKA

Fitriadi, N., & Fitriadi, N. (2018). Kajian Sifat Mekanik Bata Ringan Dari

- Rinaldi, S., Dewi, S. M., & Wijaya, M. N. (2018). *Pengaruh Komposisi Agregat Kasar Limbah Batu Bata dan Agregat Halus Limbah Plastik Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang Bambu* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Rori, G., Walangitan, D. R., & Inkiriwang, R. L. (2020). Analisis perbandingan biaya material pekerjaan pasangan dinding bata merah dengan bata ringan. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3).
- Saputro, W. B., & Asroni, I. A. (2017). *Tinjauan Kuat Lentur Plat Beton Geopolymer Bertulang Dengan Tulangan Bambu Pilin* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Siagian, D. P. (2016). Analisa Penggunaan Foam Agent sebagai Bahan Dasar Pembuatan Bata Ringan.
- Supratikno. (2019). Pemanfaatan Limbah Plastik sebagai Pengganti Agregat Kasar. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 22.
- Suryani, N. (2015). Fabrikasi Bata Ringan Tipe Celluler Lightweight Concrete Dengan Bahan Dasar Pasir Vulkanik Gunung Kelud Sebagai Pengganti Fly Ash. *Inovasi Fisika Indonesia*, 4(3).
- Tsabit, A. H. (2019). *Kombinasi Rasio Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate Dengan Serat Sisal Terhadap Sifat Mekanik Bata Ringan Green Sustainable* (Doctoral dissertation, Universitas Teknologi Sumbawa).
- Widyawati, F. (2020). Pemanfaatan Serat Sisal (Agave Sisalana L.) Dan Limbah Plastik Pet Untuk Pembuatan Bata Ringan Clc (Cellular Lightweight Concrete). *Jurnal Tambora*, 4(1), 21-25.