

## Pembuatan Alat Produksi Bata Ringan dari Pasir Silika di Desa Tegalwangi Kecamatan Umbulsari, Kabupaten Jember, Jawa Timur

**Sunggung Pintowantoro**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Rochman Rochiem**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Diah Susanti**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Yuli Setiyorini**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Fakhreza Abdul**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Hanuffudin Nurdiansah**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### Abstract

*The times and technology for making materials have changed rapidly. Any development of materials will usually lead to how to make a material light, easy to obtain, and also with lower production costs. One of the materials that is experiencing development is the constituent material of bricks or concrete. Red bricks are composed of quite heavy clay material. It causes the building load to be heavier as a whole construction. One solution is that concretes with a lower density are needed to reduce the load of the building as a whole. The advantages of lightweight concretes are having stronger mechanical properties, precise shape and size, and more efficient production and application costs when compared to conventional red bricks. The raw material for making lightweight concretes is also easy to find. It can use low levels of silica sand that is widely available in various regions in Indonesia. Light bricks are those with a density below 1,800 kg / m<sup>3</sup>. The components of the lightweight concrete usually consist of silica sand, cement, and lime. However, in the lightweight concrete making process, this time a foaming agent and special additive were added with a certain composition so that the concrete and mixing process is more homogeneous and dries quickly without cracking and shrinking when printed. The lightweight concrete production and manufacturing procedures were applied in the area of Tegalwangi Village, Umbulsari sub-district, Jember Regency.*

**Keywords:** *Lighweight concrete; Silica sand; Tegalwangi Jember*

### Abstrak

Perkembangan zaman dan teknologi pembuatan material telah banyak berubah dengan pesat. Setiap perkembangan material biasanya akan mengarah kepada bagaimana membuat suatu material tersebut ringan, mudah didapat dan juga dengan biaya produksi yang lebih rendah. Salah satu material yang mengalami perkembangan adalah material penyusun dari batu bata. Batu bata merah tersusun dari material tanah liat yang cukup berat. Hal ini menyebabkan beban bangunan akan menjadi lebih berat secara keseluruhan salah satu solusinya adalah dibutuhkan batu bata dengan massa jenis yang lebih rendah untuk mengurangi beban dari bangunan secara keseluruhan. Keunggulan dari batu bata yang lebih ringan adalah memiliki sifat mekanik yang lebih kuat, bentuk dan ukurannya yang presisi dan biaya produksi serta pengaplikasian yang lebih efisien jika dibandingkan dengan batu bata merah yang konvensional. Bahan baku pembuatan batu bata ringan juga mudah ditemukan, dapat menggunakan pasir silika dengan kadar yang rendah yang banyak terdapat di berbagai daerah yang ada di Indonesia. Bata ringan adalah yang memiliki massa jenis di bawah dari 1.800 kg/m<sup>3</sup>. Komponen dari bata ringan biasanya terdiri dari pasir silika, semen dan juga kapur. Namun pada proses pembuatan bata ringan kali ini ditambahkan zat pengembang dan zat aditif khusus dengan komposisi tertentu agar proses pengembangan bata dan campuran lebih homogen serta cepat kering tanpa mengalami retakan dan penyusutan saat dicetak. Alat produksi bata ringan dan prosedur pembuatannya diterapkan di wilayah Desa Tegalwangi, Kecamatan Umbulsari, Kabupaten Jember.

**Kata kunci:** Bata Ringan; Desa Tegalwangi Jember; Pasir Silika

## 1. Pendahuluan

Pasir silika merupakan salah satu potensi bahan baku yang banyak ada di Indonesia, terlebih lagi Indonesia memiliki bentang pantai yang panjang. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, bahan baku silika di Indonesia tercatat ada sebanyak 17 miliar ton (PTM-BPPT, 2013). Hal tersebut membuktikan bahwa Indonesia memiliki potensi bahan baku mineral silika yang luar biasa. Akan tetapi, meskipun potensi silika di Indonesia yang besar, pemanfaatan pasir silika masih sangat minim. Khususnya, pemanfaatan pasir silika dengan kadar silika yang rendah. Pasir silika sendiri merupakan bahan baku utama dalam produksi keramik, kaca, penyaring air, bata refraktori, semen dan lain-lain. Pada interval waktu bulan Januari hingga bulan Oktober tahun 2014, Kementerian perdagangan mencatat bahwa aktivitas ekspor untuk produk-produk tersebut mencapai 138 juta USD (Indradie Andri, 2015).

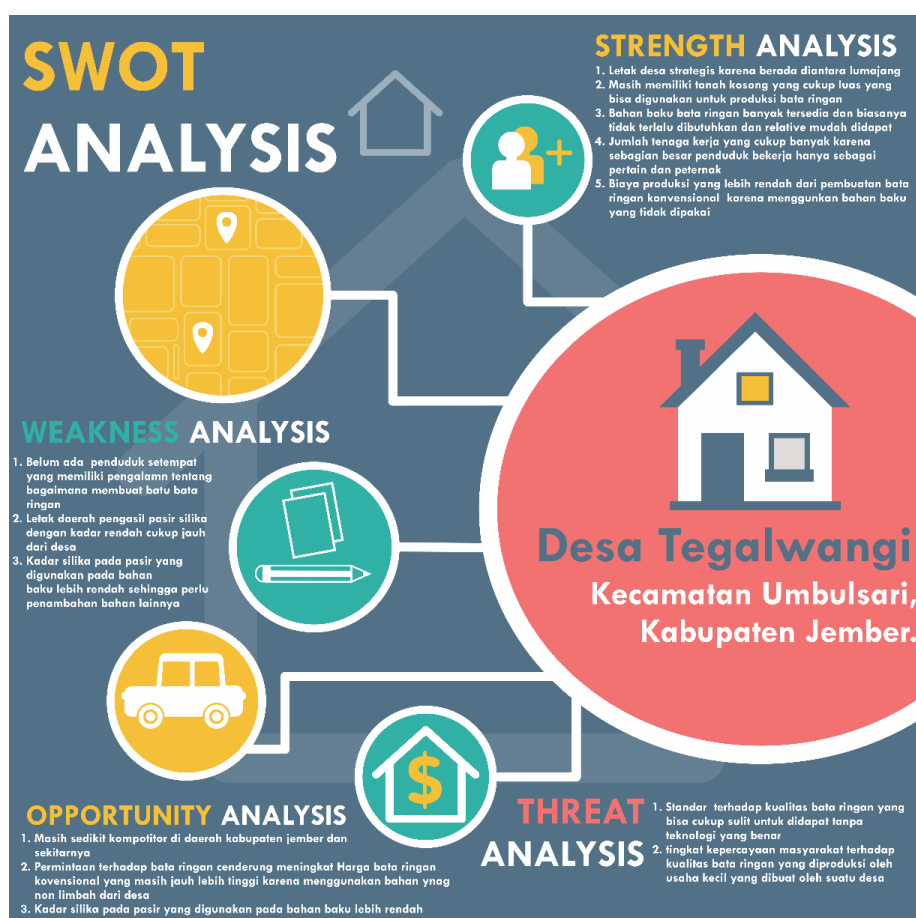
Pasir silika sendiri memiliki senyawa penyusun berupa Silika ( $\text{SiO}_2$ ), Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), Magnesia ( $\text{MgO}$ ), dan sejumlah kecil kalium dioksida ( $\text{K}_2\text{O}$ ). Secara fisik, pasir silika sendiri memiliki warna putih atau bisa keabu-abuan tergantung pada kandungan senyawa yang ada di dalamnya. Dalam aplikasi untuk semen, kandungan silika yang digunakan sekitar 21,3%. Pemakaian silika di industri semen ialah dalam rentang 6-7% berat (Haryanti & Wardhana, 2019). Pasir silika tersebut bisa digunakan sebagai bahan baku pembuatan bata ringan. Bata ringan ialah bahan bangunan alternatif untuk menggantikan bata merah konvensional. Dalam pembuatan bangunan, bata ringan digunakan untuk pembangunan dinding bangunan. Berat jenis bata ringan umumnya ada pada rentang 600 hingga 1800  $\text{kg/m}^3$  (Taufik, Kurniawandy, & Arita, 2017). Dengan berat jenis yang relatif rendah tersebut, maka salah satu keunggulan bata ringan dibandingkan bata merah konvensional ialah untuk volume yang sama, berat bata ringan lebih ringan dibandingkan bata merah (Tjokrodinuljo, 1996), (Taufik et al., 2017). Bata ringan sendiri memiliki kekuatan tekan antara 1 hingga 15 MPa (R. C. Smith, 1988), (Taufik et al., 2017). Selain itu, jika dilihat dari teknis pemasangannya, bata ringan memiliki keunggulan dalam pemasangannya karena membutuhkan waktu pemasangan yang lebih cepat dibandingkan bata merah konvensional karena memiliki bentuk dan ukuran yang lebih presisi. Selain itu, pemasangan bata ringan juga hanya membutuhkan lebih sedikit semen atau mortar dibandingkan bata merah konvensional. Dari segi metode pembuatannya, bata ringan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu bata ringan jenis *Autoclaved Aerated Concrete (AAC)* dan *Cellular Lightweight Concrete (CLC)* (Bella, Pah, & Ratu, 2017). Ditinjau dari segi proses pembuatannya, bata ringan AAC dikeringkan menggunakan autoklaf dengan temperatur dan tekanan yang tinggi. Di sisi lain, bata ringan CLC mengalami proses pengeringan alami tanpa menggunakan oven atau tungku (Putri, Aidil, & Wan, 2015).

Pada kegiatan pengabdian masyarakat kali ini, bata ringan yang dibuat ialah bata ringan jenis CLC karena memiliki proses pembuatan yang lebih sederhana dibandingkan bata ringan jenis AAC. Sehingga, masyarakat lebih mudah memahami tahapan proses pembuatan bata ringan CLC. Selain itu, kebutuhan peralatannya juga tidak serumit alat untuk pembuatan bata ringan AAC sehingga biaya pengadaan peralatan juga lebih kecil. Sasaran kegiatan pengabdian masyarakat kali ini ialah masyarakat di Desa Tegalwangi, Kec. Umbulsari, Kab. Jember. Mayoritas penduduk Desa Tegalwangi bermata pencaharian sebagai petani terutama di sektor kehutanan. Lahan atau ladang yang digunakan oleh warga Desa Tegalwangi merupakan lahan milik perhutani yang dikelola oleh warga sekitar. Setelah melakukan analisis kondisi lingkungan yang ada di Desa Tegalwangi, bahwa di daerah sekitar Desa Tegalwangi memiliki potensi pasir silika di pinggiran sungai yang banyak. Namun, pasir silika yang ditemukan di daerah sekitar Desa Tegalwangi memiliki kadar silika yang rendah. Meskipun memiliki kadar yang rendah, pasir silika tersebut sudah bisa digunakan untuk bahan baku pembuatan bata ringan yang mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Sehingga, pembuatan dan penjualan bata ringan yang berasal dari pasir silika dari daerah tersebut akan dapat menaikkan tingkat ekonomis penduduk sekitar. Akan tetapi, karena pasir silika yang digunakan

merupakan pasir silika dengan kadar yang rendah maka dari itu dilakukan beberapa inovasi dan modifikasi untuk menyempurnakan bata ringan tersebut. Modifikasi tersebut diantaranya ialah penggunaan komposisi bahan baku yang digunakan, yaitu pasir silika, semen, zat pengembang, air, dan zat aditif. Selain itu, desain *mixer*, kecepatan putaran *mixer*, waktu pencampuran dalam *mixer* dan waktu *curing* adonan bata ringan dalam cetakan. Kegiatan pengabdian masyarakat ini memiliki tujuan yaitu selain transfer pengetahuan juga untuk membantu masyarakat Desa Tegalwangi untuk dapat memperoleh pilihan baru dalam meningkatkan ekonomi penduduknya dengan memproduksi bata ringan jenis CLC. Pada kegiatan pengabdian masyarakat ini, paket alat produksi bata ringan berupa *mixer*, cetakan, drum zat pengembang, sejumlah bahan baku, serta video prosedur pembuatan bata ringan diserahkan kepada Kepala Desa Tegalwangi.

## 2. Metode Pelaksanaan

Kegiatan ini diawali dengan observasi lapangan untuk membuat analisa SWOT. Gambar 1 menunjukkan hasil analisa SWOT yang dilakukan oleh Tim Pengabdian ITS. Berdasarkan analisa SWOT tersebut, maka disimpulkan bahwa kegiatan pengabdian masyarakat di Desa Tegalwangi ini memiliki beberapa kekuatan, yaitu: letaknya yang strategis berada di antara Kab. Jember dan Lumajang sehingga lebih dekat pada pasar, masih memiliki lahan kosong yang banyak sehingga bisa digunakan untuk lahan produksi bata ringan, bahan baku juga tersedia dalam jarak yang relatif dekat, yaitu masih dalam wilayah Kab. Jember, jumlah tenaga kerja yang cukup banyak, dan biaya produksi yang lebih efisien dibandingkan bata merah konvensional karena letaknya yang dekat dengan bahan baku dan pasar.



Gambar 1. Analisa SWOT yang dilakukan oleh Tim Pengabdian ITS

Selanjutnya, tim pengabdian ITS melakukan pembuatan alat produksi bata ringan di Laboratorium Pengolahan Mineral dan Material, Departemen Teknik Material dan Metalurgi, FT-IRS, ITS dan bengkel di daerah Kec. Sedati, Sidoarjo. Setelah alat tersebut jadi, maka dilakukan uji coba produksi sehingga diperoleh bata ringan CLC. Kemudian, tim pengabdian ITS juga membuat buku dan video prosedur pembuatan bata ringan. Setelah itu, semua alat produksi bata ringan dan bahan baku dikirim ke Desa Tegalwangi dan diterima oleh Kepala Desa Tegalwangi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Survei

Survei dilakukan dengan tujuan untuk berdiskusi lebih lanjut terkait pelaksanaan kegiatan pengabdian. Diskusi berlangsung dengan baik dan terjadi secara dua arah antara Tim Abdimas ITS dengan Bapak Lurah Desa Tegalwangi. Ada beberapa hal yang menjadi isi diskusi antara lain: Pihak Kelurahan Desa Tegalwangi menginginkan adanya praktek riil dan berdampak bagi warga Desa Tegalwangi dalam hal lapangan pekerjaan dan peningkatan ekonomi. Sehingga, harapannya pelatihan tersebut tidak hanya bersifat teori melainkan dapat dipraktikkan langsung, menjadi produk bata ringannya, dan dapat dijual serta menghasilkan pendapatan. Pihak Kelurahan Desa Tegalwangi bersedia membeli produk bata ringan yang diproduksi baik oleh Tim Abdimas ITS dan warga Desa Tegalwangi untuk kebutuhan pembangunan Desa Tegalwangi sendiri, misalkan untuk pembangunan kantor desa, lapangan voli, dan lain-lain. Pihak Kelurahan juga menjelaskan potensi pasir pengurukan yang ada di Desa Tegalwangi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan bata ringan. Selain itu, pihak Kelurahan juga menjelaskan bahwa di sekitar daerahnya juga terdapat potensi berupa pasir kalsium berwarna putih yang potensial juga digunakan sebagai bahan baku pembuatan bata ringan mengingat harganya yang murah, yaitu sekitar 450 ribu rupiah per truk nya. Pihak Kelurahan juga menjelaskan bahwa selain pasir pengurukan, kalsium dan kapur, di daerah Jember Selatan juga terdapat potensi mineral yang sedang naik daun, yaitu mineral emas. Tim Abdimas ITS berharap pembuatan bata ringan yang akan dilakukan juga dapat memanfaatkan potensi-potensi lokal yang ada di Desa Tegalwangi agar dapat memberikan nilai tambah. Selain itu, jika bahan baku berada di dekat lokasi produksi, maka dapat mengurangi biaya operasi pembuatan bata ringan Gambar 2 menunjukkan kegiatan survei dan diskusi antara Tim Pengabdi dengan Kepala Desa Tegalwangi.



Gambar 2. Survei lapangan dan diskusi dengan Kepala Desa Tegalwangi



### 3.2 Pembuatan dan produksi bata ringan CLC

Untuk memproduksi bata ringan CLC dibutuhkan beberapa peralatan utama yaitu *mixer*, alat penyedia zat pengembang, dan cetakan bata ringan. Sedangkan bahan yang diperlukan pembuatan batu bata ringan CLC yaitu semen, pasir, kalsium, gipsum, zat aditif dan zat pengembang. Zat pengembang (*foam*) sendiri terbuat dari campuran *Sodium Lauryl Sulphate* (SLS), *Triethylamine* (TEA) dan air yang terdapat pada Gambar 3. Pada Gambar 4 merupakan proses pembuatan *foam* dan hasilnya.



Gambar 3. Bahan untuk pembuatan zat pengembang dan alat penyedia zat pengembang



Gambar 4. Proses pembuatan foam dan hasilnya

Setelah proses percobaan pembuatan foam selesai, maka selanjutnya akan dilakukan pencampuran dengan bahan baku pembentuk batu bata ringan CLC. Dimulai dengan menimbang bahan baku sesuai dengan perbandingan komposisi, kemudian dimasukan ke dalam mixer untuk proses pencampuran. Bersamaan dengan itu dimasukkan air secukupnya hingga terbentuk *slurry*. Apabila bahan baku telah tercampur dengan baik dan membentuk *slurry*, ditambahkan foam ke dalam mixer yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses penambahan air hingga terbentuk *slurry* dan proses penambahan foam

Gambar 6 menggambarkan proses pencetakan batu bata ringan *CLC* dengan cara manual pada cetakan baja berukuran  $10 \times 20 \times 60$  cm. Kemudian dilakukan proses pengeringan dan batu bata ringan dapat dilepaskan dari cetakan setelah dua hari.



Gambar 6. Proses pencetakan batu bata ringan

Gambar 7 menunjukkan kegiatan uji coba pembuatan bata ringan jenis *CLC*. Dari hasil beberapa kali uji coba, maka dapat diperoleh bata ringan yang memiliki ukuran sesuai dengan cetakan, densitas antara  $400\text{--}1500 \text{ kg/m}^3$ , dan tidak ada retakan saat proses pengeringan.



Gambar 7. Uji coba pembuatan bata ringan jenis *CLC* oleh tim pengabdi ITS

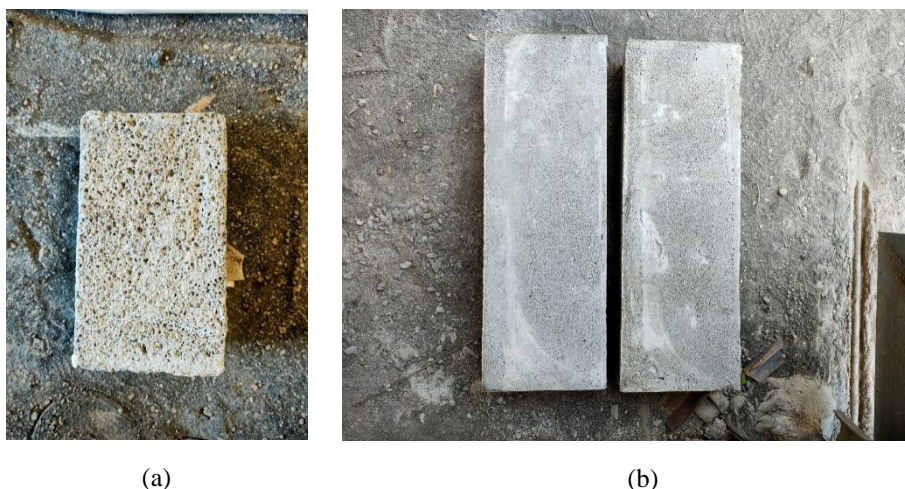


Dalam pembuatan batu bata ringan ini, digunakan dua macam zat aditif, yaitu stirena dan RDP. Sehingga menghasilkan batu bata ringan dengan densitas yang beragam seperti yang terdapat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Hasil Percobaan 1 Menggunakan RDP untuk 6 kg Campuran

Perbandingan Pasir : Kalsium	Jumlah Pasir (kg)	Jumlah Kalsium (kg)	Jumlah Air (ml)	Densitas Awal ( $\rho_0$ )	Densitas Akhir ( $\rho_2$ hari)
1:1	2,00	2,00	650	0,90	0,87
1:2	1,30	2,70	1190	0,80	0,98
2:1	2,70	1,30	1050	0,70	0,74
1:3	1,00	3,00	1030	0,55	0,89
3:1	3,00	1,00	900	0,75	0,76

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa hasil terbaik didapatkan dari perbandingan komposisi pasir:kalsium yaitu 2:1, semen 2 kg, dengan jumlah pasir 2,70 kg, jumlah kalsium 1,30 kg, dan jumlah air 1050 ml karena memiliki densitas yang tergolong menengah jika dibandingkan dengan hasil uji coba yang lain, yaitu sebesar 0,7-0,74 g/cm<sup>3</sup>.



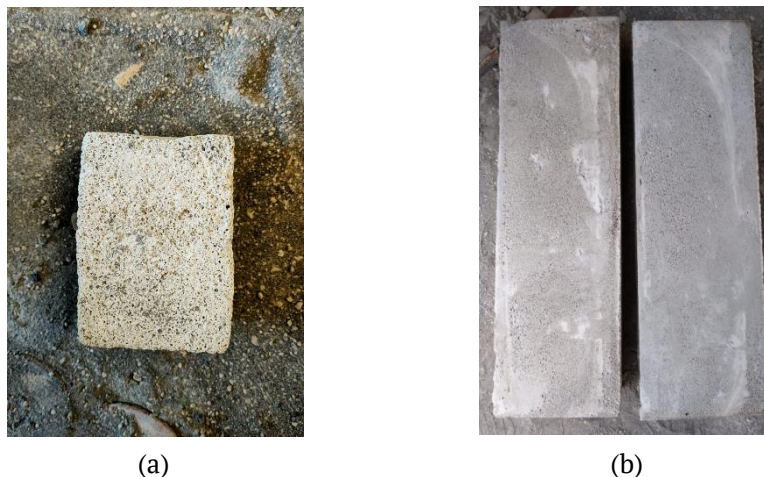
Gambar 8. Produk bata ringan dengan rasio komposisi pasir dan kalsium sebesar 2:1 untuk (a) Hasil uji coba skala kecil (6 kg) dan (b) Hasil uji coba skala besar (10 kg)

Berdasarkan hasil produksi batu bata ringan dengan perbandingan komposisi pasir dan kalsium sebesar 2:1 didapatkan massa jenis (densitas) sebesar 0,88 g/cm<sup>3</sup> pada saat cair. Setelah 2 hari, dilepaskan dari cetakan dan dihitung densitasnya, yaitu sebesar 0,98 g/cm<sup>3</sup>. Pada umur 9 hari, dilakukan perhitungan kembali, sehingga mendapatkan densitas sebesar 0,89 g/cm<sup>3</sup>. Hal ini disebabkan karena kandungan air yang terdapat pada batu bata ringan menguap pada saat proses pengeringan.

Tabel 2. Hasil Percobaan 1 Menggunakan Stirena untuk 6 kg Campuran

Perbandingan Pasir : Kalsium	Jumlah Pasir (kg)	Jumlah Kalsium (kg)	Jumlah Air (ml)	Densitas Awal ( $\rho_0$ )	Densitas Akhir ( $\rho_2$ hari)
1:1	2,00	2,00	900	0,80	0,85
1:2	1,30	2,70	950	0,90	1,01
2:1	2,70	1,30	850	0,75	1,09
1:3	1,00	3,00	950	0,50	0,64
3:1	3,00	1,00	790	0,60	0,62

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa hasil terbaik didapatkan dari perbandingan komposisi pasir : kalsium yaitu 1:1, semen 2 kg, dengan jumlah pasir 2 kg, jumlah kalsium 2 kg, dan jumlah air 900 ml karena memiliki densitas yang tergolong menengah jika dibandingkan dengan hasil uji coba yang lain, yaitu sebesar 0,80-0,85 g/cm<sup>3</sup>. Produk percobaan tersebut ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9. Produk bata ringan dengan rasio komposisi pasir dan kalsium sebesar 1:1 untuk  
(a) Hasil uji coba skala kecil (6 kg) dan (b) Hasil uji coba skala besar (10 kg)

Berdasarkan hasil produksi batu bata ringan dengan perbandingan komposisi pasir dan kalsium sebesar 2:1 didapatkan massa jenis (densitas) sebesar 0,88 g/cm<sup>3</sup>. Dengan nilai massa jenis tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa bata ringan yang diproduksi telah sesuai dengan standar densitas bata ringan, yaitu kurang dari 1,00 g/cm<sup>3</sup>.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa, pembuatan bata ringan dapat dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan seperti pasir silika, semen, kalsium, *gypsum*, zat aditif dan zat pengembang. Zat pengembang ditambahkan untuk menurunkan densitas dari bata ringan yang diproduksi. Pengurangan densitas ini akan berpengaruh pada berat akhir dari bata ringan sehingga akan didapatkan bata ringan dengan berat yang lebih rendah. Hasil densitas yang didapatkan setelah penambahan zat pengembang berada pada rentang 0,60–1,00 g/cm<sup>3</sup>. Waktu tunggu pengeringan pasca pencetakan bata ringan sangat menentukan untuk mendapatkan densitas yang optimal karena berpengaruh pada pengurangan kadar air pada bata ringan.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM)-ITS yang telah memberikan dana untuk melaksanakan kegiatan pengabdian masyarakat ini melalui skema Pengabdian kepada Masyarakat Berbasis Produk sesuai dengan kontrak no: 1009/PKS/ITS/2020.



## Daftar Pustaka

- Bella, R. A., Pah, J. J. S., & Ratu, A. G. (2017). Perbandingan Presentase Penambahan Fly Ash terhadap Kuat Tekan Bata Ringan Jenis CLC. In *Jurnal Teknik Sipil*. Retrieved from <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/jurnal-teknik-sipil/article/view/20494>
- Haryanti, N. H., & Wardhana, H. (2019). Pengaruh Komposisi Campuran Pasir Silika dan Kapur Tohor Pada Bata Ringan Berbahan Limbah Abu Terbang Batubara. *Jurnal Fisika Indonesia*, 21(3), 11. <https://doi.org/10.22146/jfi.42443>
- Indradie Andri, A. T. (2015). Mencetak bata ringan, mencetak laba. Retrieved December 8, 2020, from <https://peluangusaha.kontan.co.id/news/mencetak-bata-ringan-mencetak-laba>
- PTM-BPPT. (2013). Pusat Teknologi Material - Potensi Sumber Daya Silika Dan Wacana Pembangunan Industri PV Di Indonesia Mengacu Pada Industri PV Global Dan Perkembangan Material Maju Di Indonesia. Retrieved December 8, 2020, from <https://ptm.bppt.go.id/kegiatan-dan-kerja-sama/berita/224-potensi-sumber-daya-silika-dan-wacana-pembangunan-industri-pv-di-indonesia-mengacu-pada-industri-pv-global-dan>
- Putri, O., Aidil, A., & Wan, F. (2015). Studi Eksperimental Pembuatan Batu Bata Ringan dengan Memakai Additive Foam Agent Prosiding 2 nd Andalas Civil Engineering National Conference. In *digilib.mercubuana.ac.id*. Retrieved from [http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!@file\\_artikel\\_abstrak/Isi\\_Artikel\\_836378503081.pdf](http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!@file_artikel_abstrak/Isi_Artikel_836378503081.pdf)
- R. C. Smith, C. K. A. (1988). *Material of Construction Fourth Edition*. Singapore: Mc. Graw-Hill.
- Taufik, H., Kurniawandy, A., & Arita, D. (2017). Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah Foaming Agent The analysis of Lightweight Compressive Strength by adding Form Agent Material. In *JURNAL SAINTIS* (Vol. 17). Retrieved from <https://journal.uir.ac.id/index.php/saintis/article/view/1765>
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Nafiri.

**Afiliasi:**

Sungging Pintowantoro\*, Rochman Rochiem, Diah Susanti, Yuli Setiyorini, Fakhreza Abdul,  
Haniffudin Nurdiansah

Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Gedung Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa  
Sistem, Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

E-mail : [sungging@mat-eng.its.ac.id](mailto:sungging@mat-eng.its.ac.id)\*, [rochman.rochiem@mat-eng.its.ac.id](mailto:rochman.rochiem@mat-eng.its.ac.id),  
[santiche@mat-eng.its.ac.id](mailto:santiche@mat-eng.its.ac.id), [yulisetiyorini@yahoo.com](mailto:yulisetiyorini@yahoo.com),  
[fakhreza.abdul@mat-eng.its.ac.id](mailto:fakhreza.abdul@mat-eng.its.ac.id), [haniffudin@mat-eng.its.ac.id](mailto:haniffudin@mat-eng.its.ac.id)