

## Pengaruh Ukuran Butir Pasir Terhadap Kuat Tekan *Cellular Lightweight Concrete*

Sapta Amanda Putra<sup>1\*</sup>, Ilham Ary Wahyudie<sup>1</sup>, Yuli Dharta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

\*E-mail : saptaputra061001@gmail.com

Received: 6 Februari 2023; Received in revised form: 10 Februari 2023; Accepted: 12 Agustus 2023

### Abstract

*Lightweight bricks are concrete bricks that have a lighter specific gravity than concrete bricks in general. Lightweight concrete according to the Indonesian National Standard (SNI) 03-3449-2002 is concrete that has light aggregate or a mixture of light coarse aggregate and natural sand as a substitute for light fine aggregate if it does not exceed the maximum concrete weight of 1850 kg/m<sup>3</sup>. The size of the sand grain matters against the compressive strength of lightweight bricks. The method used in this study is using the Full Factorial method. The results of the compressive strength test showed that the average value of the largest sample was 60.90 MPa and the average value of the smallest sample was 6.70 MPa. As for the results of the density test, the largest average value was 6,135.36 kg/cm<sup>3</sup>. The results of the density test obtained the smallest average value of 2.968 kg/cm<sup>3</sup>.*

**Keywords:** Light brick; Light brick press strength; Sand grain size.

### Abstrak

Bata ringan merupakan bata beton yang memiliki berat jenis lebih ringan dari pada bata beton pada umumnya. Beton ringan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-3449-2002 adalah beton yang memiliki agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m<sup>3</sup>. Ukuran butiran pasir berpengaruh terhadap kuat tekan bata ringan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yakni menggunakan metode Full Factorial. Hasil pengujian kuat tekan, didapat rata-rata nilai sampel terbesar adalah 60,90 Mpa dan rata-rata nilai sampel terkecil adalah 6,70 Mpa. Sedangkan untuk hasil pengujian densitas didapat nilai rata-rata terbesar adalah 6.135,36 kg/cm<sup>3</sup>. Hasil pengujian densitas didapat nilai rata-rata terkecil 2,968 kg/cm<sup>3</sup>.

**Kata kunci:** Bata ringan; Kuat tekan bata ringan; Ukuran butir pasir.

## 1. PENDAHULUAN

Pada umumnya penduduk Indonesia dapat menghasilkan 700 karung sampah plastik (Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021). Masalah sampah plastik di Indonesia bahkan diperparah dengan kebiasaan masyarakat yang membuang sampah ke sungai, sehingga menyebabkan pencemaran di sepanjang sungai, akhirnya menuju ke laut. Hal ini menjadikan Indonesia menjadi penghasil sampah plastik laut terbesar kedua setelah Cina [1].

Bata ringan merupakan bata beton yang memiliki berat jenis lebih ringan dari pada bata beton pada umumnya. Beton ringan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-3449-2002 adalah beton yang

memiliki agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m<sup>3</sup>. Bata ringan memiliki suatu klasifikasi dalam hal densitas, yaitu memiliki densitas antara 2000Kg/m<sup>3</sup> atau lebih rendah. Terdapat dua jenis bata ringan yang sering digunakan dalam aplikasinya sebagai konstruksi pada dinding bangunan, yaitu bata ringan dengan jenis AAC (*Autoclaved aerated concrete*) tipe ini sudah dapat diproduksi skala pabrik dan bata ringan dengan jenis CLC (*Cellular lightweight concrete*). Pada dasarnya bahan utama penyusun batu bata dari kedua jenis

tersebut adalah sama yaitu menggunakan semen, pasir, *fly ash*, buih, dan air [2].

Pasir yang merupakan salah satu penyusun komposit *cellular lightweight concrete* memiliki ukuran butir tertentu. Ukuran butir pada komposit tersebut sangat mempengaruhi kekuatan, kekerasan, elastisitas, dan ketahanan pada bahan [3].

*Cellular lightweight concrete* adalah komposit yang terdiri dari semen, pasir, air, dan *foam agent*. Penggunaan *foam agent* pada bata ringan adalah untuk memperluas permukaan dengan adanya gelembung udara, yang membuat bata ini lebih ringan dibandingkan beton biasa [4].

Menurut SNI 03-3449-1994, bata ringan adalah beton yang memakai agregat ringan atau campuran agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m<sup>3</sup> [5].

Kualitas bata ringan tergantung pada kualitas *foam agent* yang digunakan, karena *foam* menciptakan gelembung-gelembung udara sehingga dapat mengurangi massa jenis atau densitas pada bata ringan [6].

## 2. METODE PENELITIAN

Pembuatan sampel bata ringan menggunakan alat ayakan pasir ukuran 2 mesh, 4 mesh, dan 10 mesh, *mixer*, *foam generator*, ember, cetakan sampel ukuran 100 mm x 50 mm x 50 mm, yang akan dibuat dengan 3 variasi. Variasi yang pertama fraksi pasir 20 cm<sup>3</sup>, semen 10 cm<sup>3</sup>. Variasi ke-2 fraksi pasir 15 cm<sup>3</sup>, semen 15 cm<sup>3</sup>. Variasi ke-3 fraksi pasir 10 cm<sup>3</sup>, semen 20 cm<sup>3</sup>. Bahan lainnya yaitu pasir pantai, *foam agent*, semen *portland*, dan air.

Proses pengujian densitas dengan menimbang berat sampel bata ringan dan

juga ada mesin uji tekan Mesin Zwick Roell 2020 yang digunakan pada proses pengujian kuat tekan.

Kuat tekan Kuat tekan suatu material didefinisikan sebagai kemampuan material dalam menahan beban atau gaya mekanis yang bekerja sampai terjadinya kegagalan (*failure*). Untuk mengetahui secara pasti kekuatan bata ringan, dilakukan pengujian kuat tekan. Pada mesin uji tekan, benda yang akan diuji diletakkan dan diberi beban sampai benda runtuh, yaitu pada saat beban maksimum bekerja [7]. Untuk mengetahui besar dari kuat tekan bata ringan maka digunakan persamaan 1

$$P = F/A \dots\dots\dots (1)$$

dengan P adalah beban maksimum (N/mm<sup>2</sup>), F merupakan kuat tekan bata ringan (N), dan A adalah luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>).

Berat jenis merupakan ukuran kepadatan dari suatu material atau sering didefinisikan sebagai perbandingan antara massa (m) dengan volume (v) [8, 10]. Secara matematis densitas dapat dirumuskan dengan persamaan 2.

$$\rho = m/v \dots\dots\dots (2)$$

dengan  $\rho$  adalah densitas (gr/cm<sup>3</sup>), m adalah massa benda uji (gr), dan v adalah volume benda uji (cm<sup>3</sup>).

Metode pengambilan data menggunakan metode full faktorial dengan faktor ukuran butir pasir yang memiliki 3 level yaitu 2 mesh, 4 mesh, dan 10 mesh, fraksi: pasir, semen 3 level, dan volume air 3 level. Rancangan penelitian metode *full* faktorial dengan faktor dan level tersebut dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Rancangan penelitian

| No | Fraksi (cm <sup>3</sup> ) |       | Air | Ukuran Butir Pasir (Mesh) |
|----|---------------------------|-------|-----|---------------------------|
|    | Pasir                     | Semen |     |                           |
| 1  | 20                        | 10    | 183 | 2                         |
| 2  | 20                        | 10    | 150 | 2                         |
| 3  | 20                        | 10    | 116 | 2                         |
| 4  | 15                        | 15    | 183 | 2                         |
| 5  | 15                        | 15    | 150 | 2                         |
| 6  | 15                        | 15    | 116 | 2                         |
| 7  | 10                        | 20    | 183 | 2                         |

|    |    |    |     |    |
|----|----|----|-----|----|
| 8  | 10 | 20 | 150 | 2  |
| 9  | 10 | 20 | 116 | 4  |
| 10 | 20 | 10 | 183 | 4  |
| 11 | 20 | 10 | 150 | 4  |
| 12 | 20 | 10 | 116 | 4  |
| 13 | 15 | 15 | 183 | 4  |
| 14 | 15 | 15 | 150 | 4  |
| 15 | 15 | 15 | 116 | 4  |
| 16 | 10 | 20 | 183 | 4  |
| 17 | 10 | 20 | 183 | 4  |
| 18 | 10 | 20 | 150 | 4  |
| 19 | 20 | 10 | 116 | 10 |
| 20 | 20 | 10 | 183 | 10 |
| 21 | 20 | 10 | 150 | 10 |
| 22 | 15 | 15 | 116 | 10 |
| 23 | 15 | 15 | 183 | 10 |
| 24 | 15 | 15 | 150 | 10 |
| 25 | 10 | 20 | 116 | 10 |
| 26 | 10 | 20 | 183 | 10 |
| 27 | 10 | 20 | 150 | 10 |

Pada metode *full factorial* dapat dihitung menggunakan persamaan 3 [9]:

Perhitungan *sum square* total dihitung dengan persamaan 3.

$$SS_{total} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y^2 \dots}{abn} \dots (3)$$

Perhitungan *sum of squares* fraksi pasir : semen dihitung dengan persamaan 4.

$$SS_{ps} = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b Y_{j..}^2 - \frac{Y^2 \dots}{abn} \dots (4)$$

Perhitungan *sum of squares* butir pasir dihitung dengan persamaan 5.

$$SS_{butir\ pasir} = \frac{1}{abn} \sum_{j=1}^b Y_{j..}^2 - \frac{Y^2 \dots}{abn} \dots (5)$$

Perhitungan *sum of squares* volume air dihitung dengan persamaan 6.

$$SS_{volume\ air} = \frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^a Y_{i..}^2 - \frac{Y^2 \dots}{abn} \dots (6)$$

Perhitungan *sum of squares* interaksi antara fraksi pasir : semen dengan butir pasir dihitung dengan persamaan 7.

$$SS_{AB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij.}^2 - \frac{Y^2 \dots}{abn} - SS_{volume\ air} - SS_{ps} \dots (7)$$

Perhitungan *sum of squares* interaksi antara fraksi pasir: semen dengan volume air dihitung dengan persamaan 8.

$$SS_{AC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^c Y_{ij.}^2 - \frac{Y^2 \dots}{abn} - SS_{fair} - SS_{butir\ pasir} \dots (8)$$

Perhitungan *sum of squares* interaksi antara butir plastik dengan volume air dihitung dengan persamaan 9.

$$SS_{BC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^c Y_{ij.}^2 - \frac{Y^2 \dots}{abn} - SS_{ps} - SS_{butir\ pasir} \dots (9)$$

Perhitungan *sum of squares* interaksi antara fraksi pasir:semen, butir pasir dan volume air dihitung dengan persamaan 10.

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c Y_{ijk.}^2 - \frac{Y^2 \dots}{abcn} - SS_{volume\ air} - SS_{ps} - SS_{butir\ pasir} - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \dots (10)$$

Perhitungan *sum of squares* error dihitung dengan persamaan 11.

$$SSE = SST - SS_{subtotals} (ABC) \dots (11)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh ukuran butir pasir terhadap kuat tekan dan densitas bata ringan.

Tabel 2. Hasil pengujian

| Kode<br>Sampel | Kuat Tekan (Mpa) |                |                | Densitas (kg/ m <sup>3</sup> ) |                |                |
|----------------|------------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|
|                | Replikasi<br>1   | Replikasi<br>2 | Replikasi<br>3 | Replikasi<br>1                 | Replikasi<br>2 | Replikasi<br>3 |
| 1              | 15,6             | 20,4           | 24,9           | 1.940,30                       | 1.874,56       | 1.902,36       |
| 2              | 13,7             | 12,0           | 24,9           | 1.598,60                       | 1.518,24       | 1.641,08       |
| 3              | 12,0             | 8,39           | 5,77           | 1.317,52                       | 1.442,72       | 888,72         |
| 4              | 6,81             | 5,85           | 6,83           | 1.949,16                       | 1.717,36       | 1.582,28       |
| 5              | 7,45             | 9,36           | 9,62           | 1.951,76                       | 2.095,40       | 2.088,20       |
| 6              | 3,57             | 6,90           | 5,89           | 2.332                          | 2.312,80       | 2.287,68       |
| 7              | 4,36             | 4,09           | 4,32           | 956                            | 1.000          | 2.236          |
| 8              | 2,63             | 3,17           | 1,75           | 1.436                          | 1.276          | 1.324          |
| 9              | 5,00             | 5,89           | 6,00           | 1.060                          | 1.128          | 1.068          |
| 10             | 15,0             | 10,5           | 5,77           | 1.375,20                       | 1.411,68       | 1.420,84       |
| 11             | 17,7             | 15,6           | 16,9           | 1.699,08                       | 1.763,60       | 1.585,96       |
| 12             | 21,9             | 18,7           | 21,4           | 888,44                         | 1.383,96       | 1.226,48       |
| 13             | 9,77             | 12,8           | 13,6           | 1.586,60                       | 1.757,12       | 1.313,76       |
| 14             | 8,70             | 7,55           | 11,3           | 1.904                          | 1.809,44       | 1.904,76       |
| 15             | 9,07             | 9,57           | 9,91           | 1.996,28                       | 1.854,08       | 1.958,44       |
| 16             | 13,7             | 17,4           | 15,6           | 1,100                          | 1.000          | 1.020          |
| 17             | 6,48             | 8,48           | 5,29           | 1.540                          | 1.756          | 1.696          |
| 18             | 10,5             | 9,92           | 12,3           | 1.164                          | 1.240          | 1.220          |
| 19             | 3,45             | 3,43           | 4,47           | 981,96                         | 1.020,80       | 965,96         |
| 20             | 5,50             | 5,90           | 5,50           | 993,48                         | 1.143,60       | 799,20         |
| 21             | 3,50             | 3,49           | 3,03           | 1.480,76                       | 1.540,76       | 1.439,00       |
| 22             | 2,44             | 2,55           | 1,71           | 1.583,12                       | 1.911,20       | 1.713          |
| 23             | 8,83             | 11,3           | 5,66           | 1.731,24                       | 1.870,40       | 1.616,24       |
| 24             | 5,05             | 3,62           | 4,17           | 2.149,12                       | 1.946,44       | 1.972,72       |
| 25             | 4,88             | 4,82           | 5,62           | 1.468                          | 1.656          | 1.600          |
| 26             | 11,2             | 5,18           | 8,53           | 1.624                          | 1.772          | 1.692          |
| 27             | 13,0             | 13,3           | 13,9           | 1.716                          | 1.664          | 1.676          |

Data hasil pengujian kuat tekan dan densitas dilanjutkan proses pengolahan data menggunakan ANOVA.

Hipotesis Fraksi pasir: semen

H<sub>0</sub>: Fraksi pasir: semen tidak berpengaruh terhadap kuat tekan.

H<sub>1</sub>: Fraksi pasir: semen berpengaruh terhadap kuat tekan.

Hipotesis butir pasir

H<sub>0</sub>: Butir pasir tidak berpengaruh terhadap kuat tekan. H<sub>1</sub>: Butir pasir berpengaruh terhadap kuat tekan.

Hipotesis volume air

H<sub>0</sub>: Volume air tidak berpengaruh terhadap kuat tekan.

H<sub>1</sub>: Volume air berpengaruh terhadap kuat tekan.

Berikut ini perhitungan Anova dari respon pengujian kuat tekan.

Perhitungan *sum of squares* total dihitung dengan persamaan (1) didapatkan nilai SST sebesar 2196,9766. Perhitungan *sum of squares* volume air menggunakan persamaan (2) didapatkan nilai SS volume air sebesar 0,851. Perhitungan *sum of squares* fraksi pasir: semen menggunakan persamaan (3) didapatkan nilai SS ps sebesar 190,25. Perhitungan *sum of squares* butir pasir menggunakan persamaan (4) dihasilkan SS butir pasir sebesar 578,35.

Tabel 3. Tabel ANOVA pengujian kuat tekan

| Source     | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F-Hitung | F- Tabel |
|------------|----|--------|--------|--------|----------|----------|
| Volume Air | 2  | 0,85   | 0,851  | 0,426  | 0,04     | 3,14     |

|                    |    |         |         |         |       |      |
|--------------------|----|---------|---------|---------|-------|------|
| Fraksi semen pasir | 2  | 190,25  | 190,250 | 95,125  | 8,75  | 3,14 |
| Ukuran butir pasir | 2  | 578,35  | 578,354 | 289,177 | 26,61 | 3,14 |
| Volume Air*Fraksi  | 4  | 118,05  | 118,054 | 29,514  | 2,72  | 2,27 |
| Volume Air*Ukuran  | 4  | 209,16  | 209,164 | 52,291  | 4,81  | 2,27 |
| Fraksi*Ukuran      | 4  | 426,46  | 426,461 | 106,615 | 9,81  | 2,27 |
| Error              | 62 | 673,84  | 673,843 | 10,868  |       |      |
| Total              | 80 | 2196,98 |         |         |       |      |

Pada Tabel 3 didapat bahwa nilai F tabel pada volume air yaitu 3,14. Sedangkan nilai F hitung pada volume air yaitu 0,04. Dengan demikian nilai F tabel lebih besar dari F hitung sehingga gagal menolak  $H_0$ . Dengan demikian volume air tidak berpengaruh terhadap kuat tekan.

Nilai F tabel (titik kritis) pada fraksi pasir:semen yaitu 3,14, sedangkan nilai F-hitung dari fraksi pasir:semen yaitu 8,75. Sehingga nilai F tabel lebih kecil dari F hitung. Dengan demikian  $H_0$  ditolak. Artinya bahwa fraksi pasir: semen berpengaruh terhadap kuat tekan komposit.

Nilai F tabel pada butir pasir yaitu 3,14 sedangkan nilai F hitung pada butir pasir sebesar 26,61. Sehingga nilai F tabel lebih kecil dari F hitung. Untuk itu  $H_0$  ditolak.

Nilai F tabel pada interaksi antara volume air dan fraksi pasir: semen sebesar 2,27. Sedangkan nilai F hitung sebesar 2,72. Dengan demikian nilai F tabel lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  ditolak.

Nilai F tabel pada interaksi antara volume air dan ukuran butir pasir yaitu 2,27 sedangkan nilai F hitung 4,81. Nilai F tabel lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  ditolak.

Nilai F tabel pada interaksi antara fraksi pasir: semen dan ukuran butir pasir

yaitu 2,27 sedangkan nilai F hitung yaitu 9,81. Nilai F tabel lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  ditolak.

Hipotesis fraksi pasir: semen

$H_0$ : fraksi pasir:semen tidak berpengaruh terhadap densitas.

$H_1$ : fraksi pasir:semen berpengaruh densitas.

Hipotesis volume air

$H_0$ : volume air tidak berpengaruh terhadap densitas.

$H_1$ : volume air berpengaruh densitas.

Hipotesis ukuran butir pasir.

$H_0$ : ukuran butir pasir tidak berpengaruh terhadap densitas.

$H_1$ : ukuran butir pasir berpengaruh densitas.

Berikut hasil perhitungan Anova pengujian densitas:

Perhitungan sum of squares total dihitung dengan persamaan (1) didapatkan nilai SST sebesar 11416646,74. Perhitungan sum of squares volume air menggunakan persamaan (2) didapatkan nilai SS volume air sebesar 271445,418232. Perhitungan sum of squares fraksi pasir:semen menggunakan persamaan (3) didapatkan nilai SSps sebesar 4340755,159506,. Perhitungan sum of squares butir pasir menggunakan persamaan (4) dihasilkan SSbutir pasir sebesar 214124,821491.

Tabel 3 Validasi ANOVA Pengujian Densitas

| Source of Variation | SS             | DF | MS             | F-Hitung | F-Tabel |
|---------------------|----------------|----|----------------|----------|---------|
| Fraksi PS           | 4340755,159506 | 2  | 2170377,579753 | 63,73018 | 2,78    |
| Butir pasir         | 214124,821491  | 2  | 107062,4107    | 3,143742 |         |
| Volume air          | 271445,418232  | 2  | 135722,7091    | 3,985313 |         |
| AB                  | 1693036,728494 | 4  | 423259,1821    | 12,42843 | 2,27    |
| AC                  | 934072,498331  | 4  | 233518,1246    | 6,856942 |         |
| BC                  | 1122125,836879 | 4  | 280531,4592    | 8,237425 |         |
| ABC                 | 1002077,162825 | 8  | 125259,6454    | 3,678079 |         |
| Error               | 1839009,119    | 54 | 34055,72442    |          |         |
| Total               | 11416646,74    | 80 |                |          |         |

Analisis pada Tabel 3 didapat bahwa nilai F tabel (titik kritis) pada fraksi pasir: semen yaitu 2,78, nilai F hitung dari fraksi pasir: semen yaitu 63,73. Sedangkan nilai F tabel lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  ditolak. Dengan demikian fraksi pasir, semen berpengaruh terhadap densitas komposit.

Nilai F tabel pada butir pasir yaitu 2,78, Sedangkan nilai F hitung pada butir pasir yaitu 3,14. Dengan demikian nilai F tabel lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  ditolak.

Nilai F tabel pada volume air yaitu 2,78, Sedangkan nilai F hitung pada volume air yaitu 3,98 dengan demikian nilai F tabel lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  ditolak.

Nilai F tabel pada interaksi antara fraksi pasir:semen dan butir pasir yaitu 2,27. Sedangkan nilai F hitung pada interaksi antara fraksi pasir:semen dan butir pasir yaitu 12,42. Dengan demikian nilai F tabel lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  ditolak.

Nilai F tabel pada interaksi antara fraksi pasir:semen dan volume air yaitu 2,27. Sedangkan nilai F hitung pada interaksi antara fraksi pasir: semen dan butir pasir yaitu 6,85. Dengan demikian nilai F tabel lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  ditolak.

Nilai F tabel pada interaksi antara butir pasir dan volume air yaitu 2,27 sedangkan nilai F hitung pada interaksi antara fraksi pasir:semen dan butir pasir yaitu 8,23. Dengan demikian nilai F tabel lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  ditolak.

#### 4. SIMPULAN

Dalam penelitian ini bahwa faktor ukuran butir pasir, fraksi pasir: semen, dan butir pasir terbukti secara statistik mempengaruhi kekuatan tekan bata ringan. Kuat tekan tertinggi rata-rata sebesar 60,90 Mpa. Sedangkan untuk faktor volume air tidak berpengaruh terhadap kuat tekan.

Pada pengujian nilai densitas, seluruh faktor mempengaruhi nilai densitas. Nilai densitas paling rendah sebesar 2,9 kg/m<sup>3</sup>. Hal ini membuktikan bahwa bata ringan memiliki nilai densitas yang lebih rendah dari bata semen.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] Purba, R. E. S., Irwan, I., & Nurmaidah, N. Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Substitusi Campuran Bata Ringan Kedap Suara. *Journal of Civil*

*Engineering Building and Transportation*, 1(2), 87-95. DOI: 10.31289/jcebt.v1i2.1679. 2017

- [2] Suryani, N. Fabrikasi Bata Ringan Tipe Cellular Lightweight Concrete Dengan Bahan Dasar Pasir Vulkanik Gunung Kelud Sebagai Pengganti Fly Ash. *Inovasi Fisika Indonesia*, 4(3). Proceeding: DOI: <https://doi.org/10.26740/ifi.v4n3.p%25p>, 2015.
- [3] Herastuti, K. A. Studi Analisis Pengaruh Variasi Ukuran Butir batuan terhadap Sifat Fisik dan Nilai Kuat Tekan. *ReTII*. 2016
- [4] Dumendehe, T. D., & Asnan, M. N. Pengaruh Kualitas Bata Ringan terhadap Kerusakan Bangunan Gedung. 2022
- [5] Pah, J. J., Sehandi, K., & Bella, R. A. Pengaruh Variasi Ukuran Butiran Agregat Terhadap Kuat Tekan Bata Ringan Jenis Clc. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 81-90. 2019
- [6] Bella, R. A., Sinlae, A. M., & Pah, J. J. Pengaruh Ukuran Diameter Pipa Outlet Foam Generator terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air Bata Ringan Jenis CLC. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 163-174. 2016
- [7] Rumiati, M., Suryanita, R., & Maizir, H. Pengaruh Penggunaan Hidrogen Peroksida Terhadap Kuat Tekan Bata Ringan. *Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, 1(01), 57-67 <https://doi.org/10.35583/jice.v1i01.8>. 2021
- [8] Tri Mulyono. Perkembangan produksi beton mengalami banyak modifikasi untuk mengupayakan suatu beton yang kuat namun tetap berharga murah. Banyak penelitian terus dilakukan untuk mengupayakan beton yang kuat dengan harga murah. 2004
- [9] Douglas C. Montgomery, *Design of Analysis of Experiments*. Arizona, 2009.
- [10] Ilham Ary Wahyudie et al 2019 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 494. 012101 DOI: 10.1088/1757-899X/494/1/012101