

**PENGARUH UKURAN BUTIR PASIR TERHADAP KUAT  
TEKAN *CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE***

**PROYEK AKHIR**

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

Kelulusan Sarjana Terapan Politeknik Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh:

**SAPTA AMANDA PUTRA NIM 1041927**

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI  
BANGKA BELITUNG**

**2022**

**PENGARUH UKURAN BUTIR PASIR TERHADAP KUAT  
TEKAN *CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE***

**PROYEK AKHIR**

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
Kelulusan Sarjana Terapan Politeknik Negeri Bangka Belitung



Diusulkan oleh

SAPTA AMANDA PUTRA NIM 1041927

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI**

**BANGKA BELITUNG**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH UKURAN BUTIR PASIR TERHADAP KUAT TEKAN**  
**CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE**

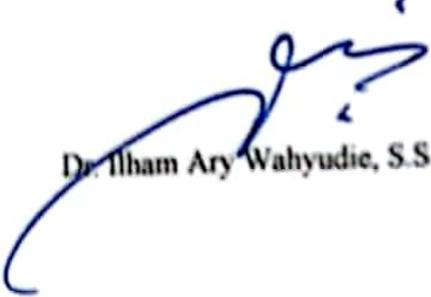
Oleh:

Sapta Amanda Putra NIM : 1041927

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan  
Program Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka  
Belitung

Menyetujui,

Pembimbing 1

  
Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T.

Pembimbing 2

  
Yulidarta, S.S.T., M.T.

Penguji 1

  
Sugiyarto, S.S.T., M.T.

Penguji 2

  
Zaldy Sirwansyah Suzen, S.S.T., M.T.

## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Sapta Amanda Putra

NIM: 1041927

Dengan Judul : PENGARUH UKURAN BUTIR PASIR TERHADAP KUAT  
TEKAN *CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE*

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, saya siap menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 20 Desember 2022

Penulis



Sapta Amanda Putra

## 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. Ukuran butiran pasir berpengaruh terhadap kuat tekan bata ringan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yakni menggunakan metode Full Factorial. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh fraksi pasir, semen, ukuran butir pasir, volume air terhadap kuat tekan bata ringan dan mengetahui pengaruh fraksi pasir, semen, ukuran butir pasir, volume air terhadap densitas bata ringan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Faktor fraksi pasir, semen level 1, volume air level 1, dan ukuran butir pasir level 1 menghasilkan data kuat tekan terbesar yaitu 24,90 Mpa. Faktor fraksi pasir, semen dan ukuran butir pasir terbukti secara statistik mempengaruhi kuat tekan bata ringan. Sedangkan untuk faktor volume air tidak berpengaruh terhadap kuat tekan. Nilai densitas paling rendah sebesar 2,9 Kg/m<sup>3</sup>. Pada pengujian nilai densitas, hanya faktor fraksi pasir, semen saja yang mempengaruhi nilai densitas.

**Kata kunci:** Bata Ringan; Ukuran Butir Pasir; Kuat Tekan Bata Ringan.

## **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 lightweight aggregate or a mixture of light coarse aggregate and natural sand as a substitute for lightweight fine aggregate provided that it does not exceed the maximum concrete weight. The size of the sand grains affects the compressive strength of lightweight bricks. The method used in this study is using the Full Factorial method. The purpose of this study was to determine the effect of the fraction of sand, cement, grain size, volume of water on the compressive strength of lightweight bricks and to determine the effect of fractions of sand, cement, grain size, volume of water on the density of lightweight bricks. The test results show that the sand fraction factor, level 1 cement, level 1 water volume, and level 1 sand grain size produce the largest compressive strength data, namely 24.90 MPa. Factors fraction of sand, cement and grain size of sand statistically proven to affect the compressive strength of lightweight bricks. Meanwhile, the water volume factor has no effect on compressive strength. The lowest density value is 2.9 Kg/m<sup>3</sup>. In testing the density value, only the sand and cement fraction factors affect the density value.*

**Keywords:** *Light Brick; Sand Grain Size; Light Brick Press Strength.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya, yang karena-Nya, penulis diberikan kekuatan dan kesabaran untuk menyelesaikan proyek akhir berjudul “Pengaruh Butiran Pasir Terhadap Kuat Tekan *Cellular Lightweight Concrete*”.

Tujuan penulisan proyek akhir ini ditunjukkan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana terapan pada Jurusan Teknik Mesin pada Prodi D IV Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Dalam penulisan proyek akhir ini, penulis sadar bahwa masih terdapat kekurangan baik dalam metode penulisan maupun dalam pembahasan materi. Kekurangan tersebut disebabkan oleh keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk dapat memperbaiki kekurangan-kekurangan tersebut di masa yang akan datang.

Dalam penulisan proposal proyek akhir ini, penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang memberikan bimbingan, dorongan, serta semangat. Baik secara langsung maupun tidak langsung, bantuan moral maupun materi yang diberikan sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai. Terima kasih yang sebesar-besarnya juga disampaikan kepada:

1. Kedua Orang tua Penulis, bapak Sutiyono dan ibu Dian Yulisna serta seluruh keluarga saya yang selalu cinta kasih sayang, dukungan moral, doa yang tulus, materi, serta telah mendidik, mengarahkan, dan memotivasi dari awal hingga selesinya proyek akhir ini. Hal itu menjadi salah satu anugerah terbesar dalam hidup penulis. Dan penulis berharap dapat menjadi anak yang bisa dibanggakan.
2. I Made Andik Stiawan, M.Eng., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Kepala Program Studi D IV Teknik Mesin dan Manufaktur.
5. Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T. M.T. selaku Dosen Pembimbing 1.

6. Yulidarta, S.S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2.
7. Yulianto, S.S.T., M.T. yang selalu memberikan arahan dan bimbingan selama proses penyusunan proyek akhir ini hingga selesai.
8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin dan Staf Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah memberikan ilmu dan bimbingan sebelum penyusunan proyek akhir ini.
9. Ratri Kusumadita, Syendi pranata, Rizky Fahreza, Maharani Febri Endya, Irfan Fadil, Ibnu Sofwan, dan Fadhlurrohman Abriansyah, serta teman-teman lainnya yang telah membantu dalam proyek akhir ini dan tidak bisa saya sebut satu persatu. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini. Apabila ada yang tidak disebutkan, penulis mohon maaf. Penulis berharap bahwa skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan pembaca. Semoga segala amal dan kebaikan yang diberikan oleh para pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini mendapat balasan yang berlimpah dari Tuhan Yang Maha Esa. Aamiin.

Sungailiat, 21 Desember 2022

Penulis



Sapta Amanda Putra

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR TABEL .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
BAB II LANDASAN TEORI .....	3
2.1. Pengertian Bata Ringan .....	3
2.1.1. Bata Ringan Jenis <i>Autoclaved Aerated Concrete</i> (AAC) .....	3
2.1.2. Bata Ringan Jenis <i>Celullar Lightweight Concrete</i> (CLC) .....	3
2.2. Material Penyusun Bata Ringan .....	4
2.2.1. Semen Portland .....	4
2.2.2. Air .....	5
2.2.3. <i>Foam Agent</i> .....	6
2.2.4. Agregat Halus .....	6
2.3. <i>Mesh</i> .....	7
2.4. Kuat Tekan .....	7
2.5. Densitas .....	8
2.6. Metode <i>Full Factorial</i> .....	8
BAB III METODE PENELITIAN .....	15
3.1. Tahapan Penelitian .....	15
3.2. Studi Literatur .....	16

3.3. Rancangan Eksperimen.....	16
3.4. Alat dan Bahan.....	17
3.5. Prosedur Pembuatan Bata Ringan.....	20
3.1. Tahap Pengujian.....	23
3.2. Teknik Analisis Data.....	24
3.3. Kesimpulan .....	25
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>	<b>26</b>
4.1. Hasil Pengujian .....	26
4.2. Hasil Uji Kuat Tekan .....	26
4.3. Analisa Kuat Tekan.....	27
4.4. Hasil Uji Densitas .....	31
4.5. Analisa Densitas.....	32
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>35</b>
5.1. Kesimpulan .....	35
5.2. Saran.....	35
<b>DAFTAR PUSAKA.....</b>	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>38</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Bata CLC.....	4
Tabel 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	15
Tabel 3. 2 Rancangan Eksperimen.....	16
Tabel 4. 1 Data Hasil Uji Kuat Tekan.....	26

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Alir Penelitian .....	5
Gambar 2. 2 Foam Agent.....	6
Gambar 2. 3 Agregat Halus.....	7
Gambar 3. 1 Cetakan sampel .....	18
Gambar 3. 2 Mixer .....	18
Gambar 3. 3 Foam Generator.....	19
Gambar 3. 4 Mesin Zwick Roell Z020.....	19
Gambar 3. 5 Ayakan Pasir .....	20

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Saat ini penggunaan bata ringan sebagai pembentuk struktur bangunan semakin meningkat. Bata ringan banyak digunakan karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan material lain. Dengan meningkatnya penggunaan bata ringan, maka meningkat pula kebutuhan bahan agregat halus. Penggunaan pasir merupakan salah satu cara untuk mengetahui bahan alam sebagai agregat halus untuk produksi bata ringan, mengingat tingginya permintaan akan pasir alami sebagai penyusun komposisi bata ringan (Hanafi, 2019). Penelitian ini menggunakan agregat halus pasir, untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variasi pasir yang memberikan nilai kuat tekan maksimum pada bata ringan.

Agregat dibedakan berdasarkan ukurannya yaitu agregat kasar, dan agregat halus. Berdasar pada standar SNI 03-2834-2000, bahwa agregat kasar merupakan kerikil hasil desintegrasi alami dari batu atau yang diperoleh dari industri pemecah batu, dengan ukuran butiran 5 mm – 40 mm. Sedangkan agregat halus adalah pasir alam yang merupakan hasil desintegrasi alami dari batu atau pasir, yang diperoleh dari industri pemecah batu dengan ukuran butiran terbesar adalah 5 mm.

Pasir digunakan dalam pembuatan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). CLC adalah komposit yang terdiri dari pasir, semen, air, dan busa (*foam*). Penggunaan busa pada bata ringan bertujuan untuk memberikan ruang kosong atau pori-pori dalam bata tersebut. Menurut Eban (2018) ruang kosong ini yang membuat bata ini lebih ringan dibandingkan beton biasa. Namun demikian kekuatan bata ringan tetap harus dijaga agar karakteristik atau sifat bata semen seperti kuat tekan berkisar antara 2,9 hingga 3,85 (MPa).

Dalam perkembangannya, industri bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* perlu meningkatkan kuat tekannya. Karena kuat tekan yang dihasilkan masih sangat kecil, namun tetap menjaga agar bata tetap ringan. Ide baru dalam pembuatan bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* terus berkembang, baik menyangkut bahan campuran, maupun komposisi campuran yang digunakan dalam proses pembuatannya (Pah, dkk, 2019).

Pasir 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 (Herastuti, 2016). Sehingga di penjelasan latar belakang akan mengkaji tentang pengaruh ukuran butiran pasir terhadap kuat tekan bata ringan.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh fraksi pasir, semen, ukuran pasir, dan volume air terhadap kuat tekan bata ringan?
2. Bagaimana pengaruh fraksi pasir, semen, ukuran pasir, dan volume air terhadap densitas bata ringan?

## **1.3. Tujuan**

Tujuan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh fraksi pasir, semen, ukuran pasir, dan volume air terhadap kuat tekan bata ringan.
2. Mengetahui pengaruh fraksi pasir, semen, ukuran pasir, dan volume air terhadap densitas bata ringan.

## **1.4. Batasan Masalah**

Penelitian ini dapat dilakukan dengan lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan semula, yaitu untuk mempermudah dalam pengumpulan data dan informasi yang diperlukan, maka penulis menetapkan batasan masalah yang hanya berkaitan dengan :

1. Semen yang digunakan Semen Portland tipe 1.
2. Penggunaan pasir kuarsa sebagai agregat halus.

## **1.5. Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui kekuatan kuat tekan bata ringan berdasarkan butiran pasir.
2. Mengetahui nilai densitas bata ringan.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1. Pengertian Bata Ringan**

Bata ringan adalah bata beton yang berat jenisnya lebih ringan dari bata beton pada umumnya. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-3449-2002, bata ringan adalah beton dengan agregat ringan atau campuran agregat ringan kasar dan pasir alam sebagai pengganti agregat halus ringan, yang memiliki berat maksimum beton 1850 Kg/m<sup>3</sup>. Bata ringan memiliki massa jenis 2000 Kg/m<sup>3</sup> atau lebih ringan. Ada dua jenis bata ringan yang biasa digunakan dalam konstruksi dinding bangunan, yaitu bata ringan tipe AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) yang sudah dapat diproduksi dalam skala pabrik, dan bata ringan tipe CLC (*Cellular Lightweight Concrete*). Pada dasarnya komponen utama dari kedua jenis batu bata ini sama yaitu semen, pasir, *fly ash*, busa dan air. (Suryani, 2015).

##### **2.1.1. Bata Ringan Jenis *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC)**

Bata ringan ACC adalah beton aerasi di mana gelembung udara terbentuk sebagai dari hasil reaksi kimia. Pasir khusus, yaitu silika (> 95% SiO<sub>2</sub>), digunakan sebagai bahan pembuatan bata ringan yang harus digiling hingga ukuran mikro. Dengan batu bata AAC yang ringan, laju pemuaiian campuran tidak dapat dikontrol dengan tepat, sehingga biasanya mengembang keluar dari cetakan. Oleh karena itu, harus dipangkas untuk mendapatkan ukuran yang dibutuhkan (Karijanto, 2013).

##### **2.1.2. Bata Ringan Jenis *Cellular Lightweight Concrete* (CLC)**

Bata ringan CLC adalah beton ringan yang mengalami proses pengeringan alami, CLC adalah beton tradisional yang menggantikan agregat kasar (kerikil) dengan menggunakan busa organik yang sangat stabil sehingga tidak terkena reaksi kimia pada saat proses pencampuran, busa berfungsi sebagai media pembungkus semen, pasir, air dan *foam* (busa organik). *Foam* digunakan sebagai bahan baku produksi bata ringan CLC. Peralatan untuk memproduksi CLC juga terstandarisasi, sehingga produk dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam produksi beton tradisional.

Kepadatan yang dihasilkan dapat disesuaikan antara 400 sampai 1800 Kg/m<sup>3</sup> dan kekuatan 1,5 hingga lebih dari 30 N/mm<sup>2</sup> dapat dicapai. Namun tingkat kepadatan yang umum digunakan adalah 1200 Kg/m<sup>3</sup> (Tansajaya, 2008). Berdasarkan pada data dari Pusat Penelitian Biomaterial LIPI dalam Nugroho (2018), bahwa kuat tekan CLC diantara 2,9 MPa hingga 3,85 MPa. Penyerapan air berkisar antara 10% hingga 15%. Tabel 2.1 di bawah ini ditunjukkan karakteristik Bata CLC tersebut.

Tabel 2. 1 Karakteristik Bata CLC

No	Sifat	Satuan	Nilai	Persyaratan
1	Kuat Tekan	MPa	2,9 – 3,85	Minimum 2,8 (IS 2185-4)
2	Penyerapan Air	%	10-15	Maksimum 2,5 (ASTM C869)
3	Kerapatan	Kg/m <sup>3</sup>	900-1000	Lebih baik < 900
4	Konduktivitas thermal	W/m.k	0,15-0,20	Lebih baik < 0,15
5	Kering Susut	%	Tidak Susut	Maksimum 0,08

Sumber: Pusat Penelitian Biomaterial LIPI, 2016

## 2.2. Material Penyusun Bata Ringan

Untuk mendapatkan bata ringan dengan kualitas yang bagus maka harus memperhatikan material penyusunya. Material penyusun bata ringan sangat berpengaruh terhadap kualitas bata ringan yang akan di hasilkan nantinya. Material penyusun Bata ringan antara lain semen, pasir, air dan *foam*.

### 2.2.1. Semen Portland

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi akan aktif setelah berhubungan dengan air. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir pasir sehingga membentuk suatu masa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir pasir tersebut. Walaupun campuran semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peran semen menjadi sangat penting (Mulyono, 2003).



Gambar 2. 1 Semen

### 2.2.2. Air

Air merupakan salah satu bahan terpenting dalam campuran bata ringan karena tanpa adanya air maka pengikatan reaksi kimia antara material penyusun bata ringan antara lain semen, pasir dan bahan tambahan (*foam agent*). Dalam campuran bata ringan air memiliki peranan penting, semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air tidak hanya untuk hidrasi semen tetapi juga untuk mengubahnya menjadi pasta (Nugraha, 2007).

Pasir dan semen menyatu dengan bantuan air. Untuk membuat beton, air merupakan bahan yang paling terjangkau. Air berfungsi sebagai pelumas antara butiran pasir dan menyebabkan semen bereaksi saat digunakan untuk membuat beton. Hanya sekitar 25% hingga 30% air dari berat semen yang diperlukan untuk membuat semen bekerja. Berdasarkan kebutuhan bahan bangunan umum. Air yang diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi pasir dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan bata ringan (Mulyono, 2007).

### 2.2.3. *Foam Agent*

*Foam Agent* merupakan salah satu bahan pembuat busa yang biasanya berasal dari bahan protein *hydrolyzed*. Fungsi dari *foam agent* adalah untuk menstabilkan gelembung udara selama pencampuran dengan cepat. Bahan pembentuk *foam agent* dapat berupa bahan alami dan buatan (Tansajaya, 2008).

Foam agent merupakan zat yang terbuat dari bahan alami berupa protein dan bahan buatan berupa sintesis. *Foam agent* yang dihasilkan dari bahan alami memiliki kepadatan 80 gram/liter dan dapat mengembang 12,5 kali. Contoh kemasan *foam agent* ditunjukkan pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2. 2 Foam Agent

### 2.2.4. Agregat Halus

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Komposisi agregat berkisar antara 60%-70% dari berat campuran beton (Tjokrodimuljo, 2007).

Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Agregat yang ukurannya lebih besar dari 40 mm digunakan untuk pekerjaan sipil lainnya, misalnya untuk pekerjaan jalan, tanggul-tanggul penahan tanah, bronjong, atau bendungan dan lainnya (Ahmad, 2015).



Gambar 2. 3 Agregat Halus

### **2.3. Mesh**

*Mesh* adalah ukuran dari jumlah lubang suatu jaring atau kasa pada luasan 1 inch persegi jaring / kasa yang bisa dilalui oleh material padat. *Mesh* 20 memiliki arti terdapat 20 lubang pada bidang jaring / kasa seluas 1 inch, demikian seterusnya (Andre Irfandi, 2021). Pada penelitian ini menggunakan *mesh* nomor 4, 16, dan 100 tabel konversi mesh dapat dilihat pada lampiran 2.

### **2.4. Kuat Tekan**

Kuat tekan suatu material didefinisikan sebagai kemampuan material dalam menahan beban atau gaya mekanis yang bekerja sampai terjadinya kegagalan. Untuk mengetahui secara pasti kekuatan bata ringan, dilakukan pengujian kuat tekan. Benda yang akan diuji diletakkan pada mesin uji dan diberi beban sampai benda runtuh, yaitu pada saat beban maksimum bekerja (Mulyono, 2004).

Kuat tekan merupakan salah satu hal penting dari kuat tidaknya beton. Kuat tekan beton sangat tergantung pada agregat, dan campuran beton. Kondisi pengeras menghasilkan kuat tekan rata-rata yang memenuhi syarat. Semakin rendah perbandingan air, semen, semakin tinggi kekuatan tekannya (Cunradiana, 2020). Kuat tekan merupakan suatu parameter yang menunjukkan besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur oleh gaya tekan tertentu. Untuk mengetahui besar dari kuat tekan bata ringan maka digunakan persamaan matematis  $P = \frac{F}{A}$  dengan P adalah kuat tekan (MPa= N/mm<sup>2</sup>), F adalah beban maksimum (N), dan A adalah luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>).

## 2.5. Densitas

Berat jenis merupakan ukuran kepadatan dari suatu material atau sering didefinisikan sebagai perbandingan antara massa (m) dengan volume (v) (Mulyono, 2004). Secara matematis densitas dapat dirumuskan sebagai  $\rho = \frac{m}{v}$  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>).

## 2.6. Metode *Full Factorial*

Pada metode *full factorial*, analisis anova dapat dihitung menggunakan beberapa persamaan seperti berikut ini.

Perhitungan jumlah varian/*sum of square* total (SS<sub>total</sub>) dihitung dengan persamaan:

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{(\sum y)^2}{abcn} \dots\dots\dots 2.1$$

Perhitungan jumlah varian/*sum of square* perlakuan A dihitung dengan persamaan:

$$SS_A = \frac{1}{bcn} \sum_{j=1}^a y_j^2 - \frac{(\sum y)^2}{abcn} \dots\dots\dots 2.2$$

Perhitungan jumlah varian/*sum of square* perlakuan B dihitung dengan persamaan:

$$SS_B = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b y_j^2 - \frac{(\sum y)^2}{abcn} \dots\dots\dots 2.3$$

Perhitungan jumlah varian/*sum of squares* perlakuan C dihitung dengan persamaan:

$$SS_C = \frac{1}{abn} \sum_{j=1}^c y_j^2 - \frac{(\sum y)^2}{abcn} \dots\dots\dots 2.4$$

Perhitungan jumlah varian/*sum of square error* dihitung dengan persamaan:

$$SSE = SST - SSA - SSB - SSC \dots\dots\dots 2.5$$

## 2.6. Penelitian Terdahulu

Sutandi & Kushartomo (2019) melakukan penelitian Tentang Pengaruh Ukuran Butiran Maksimum terhadap Kuat Tekan *Reactive Powder Concrete*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui factor yang paling dominan untuk menentukan kualitas beton dibandingkan faktor lainnya. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah perbandingan semen terhadap air, kualitas material, perbandingan komposisi material dan sebagainya. Gradasi butiran agregat juga merupakan salah satu faktor yang berperan penting untuk menentukan mutu beton. Agregat dengan ukuran butiran yang lebih halus dan bervariasi dapat memperkecil volume pori-pori yang terbentuk, sehingga susunan butiran yang baik akan menghasilkan kepadatan tinggi dan porositas minimum. Pada penelitian ini pengaruh ukuran butiran maksimum agregat halus terhadap kuat tekan *reactive powder concrete*. Benda uji dibuat dalam bentuk silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Ukuran diameter maksimum agregat halus dibuat dalam tiga jenis yaitu 300  $\mu\text{m}$ , 425  $\mu\text{m}$ , dan 600  $\mu\text{m}$ . Seluruh benda uji dirawat dengan teknik perendaman selama 3 hari, dilanjutkan dengan pengeringan pada temperature 90°C –95°C selama 4 jam. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari. Hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan kuat tekan *reactive powder concrete* dengan bertambah kecilnya ukuran butiran maksimum agregat halus.

Nasution (2017) melakukan penelitian tentang Pengaruh Variasi Ukuran Butiran Pasir Merah Labuhan Batu Selatan Untuk Meningkatkan Kekuatan Beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan pasir merah ukuran 80 *mesh*, 100 *mesh*, dan 120 *mesh*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium beton teknik UNIMED. Metode pembuatan yang dilakukan adalah SNI 03-2834-2000 yang mengacu pada pembuatan beton mutu K-175 dengan komposisi campuran semen, pasir, kerikil adalah 1 : 2 : 3. Beton dibuat berbentuk kubus 15 x

15 x 15 cm. Pada penelitian ini dibuat variasi komposisi pasir merah sebesar 80 *mesh*, 100 *mesh*, dan 120 *mesh*. Setelah beton berumur 24 jam, cetakan dibuka dan diberi nomor kode sesuai yang diinginkan dan dirawat dalam bak air. Setelah melalui masa perendaman 28 hari kemudian beton diuji dengan metode uji kuat tekan dan daya serap air. Dari hasil pengujian diperoleh sifat mekanik yaitu kuat tekan beton minimum yaitu pada penambahan pasir merah 120 *mesh* yaitu rata-rata 13,36 MPa, sedangkan kuat tekan beton maksimum pada penambahan pasir merah 80 *mesh* yaitu rata-rata 15,61 MPa. Dari hasil pengujian daya serap air terjadi penurunan pada beton dengan penambahan pasir merah pada ukuran 80 *mesh* (sampel B) dan 120 *mesh* (sampel D) yaitu 50%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa variasi ukuran butir lebih efektif untuk menurunkan daya serap air.

Auliya (2021) melakukan penelitian tentang Pengaruh Variasi Komposisi Dan Ukuran Butiran Pasir Merah Labuhan Batu Selatan Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton Mutu K-35. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi dan ukuran butiran pasir merah terhadap peningkatan kuat tekan beton mutu K-350. Beton dibuat dalam bentuk kubus berukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Penelitian ini dibuat dengan variasi komposisi pasir merah (2, 4, 6)% dan ukuran butir (80, 100, 120) *mesh*. Pembukaan cetakan beton dilakukan setelah beton berumur 24 jam dan dirawat selama 28 hari. Setelah 28 hari perawatan, beton diuji menggunakan metode uji serap air, uji kuat tekan, uji XRD, dan uji SEM. Dari hasil pengujian diperoleh kuat tekan beton maksimum pada ukuran butir 120 *mesh* dengan komposisi 6% dengan nilai 35,27 MPa. Dari hasil uji daya serap air didapatkan adanya penurunan berturut-turut pada komposisi pasir merah 4%. Pengujian XRD didapatkan unsur berupa SiO<sub>2</sub>, CaO<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub> dengan intensitas silikon paling tinggi. Dari hasil uji SEM, ukuran struktur beton dengan campuran pasir merah memiliki pori-pori yang lebih sedikit.

Milala & Apriana (2018) melakukan penelitian tentang Pengaruh Variasi Komposisi Dan Ukuran Butiran Pasir Merah Terhadap Mutu Beton. Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi dan ukuran butiran pasir

merah terhadap mutu beton. Beton dibuat berbentuk kubus 15 x 15 x 15 cm dengan standard SNI K-175 dengan komposisi campuran semen 1, 2, 3. Pada penelitian ini dibuat variasi komposisi pasir merah (agregat halus) sebesar (5, 10, 15, 20)% dari berat agregat halus yang digunakan dan variasi ukuran butiran pasir merah sebesar (80, 100, 120) mesh. Setelah beton berumur 24 jam cetakan dibuka dan diberi nomor kode sesuai yang diinginkan dan dirawat dalam bak air. Setelah melalui masa perendaman 28 hari kemudian beton diuji dengan metode daya serap air, uji kekuatan tekanan dan uji XRD. Dari hasil penelitian diperoleh sifat mekanik yaitu uji kekuatan tekanan beton maksimum pada komposisi 5% seiring dengan penurunan variasi ukuran butiran pasir merah (80, 100, 120) *mesh* dengan kekuatan tekanan berturut-turut (31.9, 35.4, 35.5 ) MPa pada komposisi 5%. Hal ini melampaui kekuatan tekanan yang ditetapkan oleh Badan Standart Nasional Indonesia K-175. Dari hasil pengujian daya serap air, beton memiliki hasil dengan uji kekuatan tekanan beton dimana daya serap airnya menurun sebesar (0.5406, 0.5293, 0.5146)% seiring dengan penurunan ukuran butiran pasir merah dan meningkatnya kekuatan tekanan beton, menunjukkan kerapatan yang baik pada campuran beton tersebut. Pengujian XRD pada beton setelah dihaluskan, dari hasil uji XRD diperoleh unsur-unsur seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{CaO}$  dan  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  grafik menunjukkan nilai intensitas silicon yang tinggi. Penambahan agregat halus pasir merah memberikan dampak pada peningkatan mutu beton (kekuatan tekanan dari SNI K-175 menjadi K-400), demikian juga pada daya serap air yang semakin kecil.

Nasution (2021) melakukan penelitian tentang Pengaruh Penambahan Pasir Merah Dengan Variasi Butiran Pasir Merah Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Bagi Peningkatan Mutu Beton. Tujuan penelitian ini adalah Untuk Mengetahui Pengaruh Penambahan Pasir Merah Dengan Variasi Butiran Pasir Merah Terhadap Nilai Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Bagi Peningkatan Mutu Beton. Pembuatan beton mengacu pada beton mutu K-225. Variasi butiran pasir merah yang digunakan adalah 80 *mesh*, 100 *mesh* dan 120 *mesh* dan Penambahan pasir merah dengan variasi komposisi 0%, 3%, 5% dan 7%. Cetakan beton yang digunakan berbentuk kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm. Pengujian yang dilakukan

adalah kuat tekan beton dan daya serap air, dan SEM-EDX pada umur beton 28 hari. Dari hasil pengujian komposisi pasir merah 3% pada ukuran butiran 120 mesh kekuatan tekanannya paling tinggi sebesar 31,44 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tekanan telah melampaui nilai yang ditetapkan Badan Standart Indonesia K-225. Dari hasil pengujian daya serap air untuk campuran pasir merah mengalami penurunan jika dibandingkan dengan beton tanpa campuran pasir merah. Hasil Pengujian SEM diperoleh struktur beton dengan campuran pasir merah memiliki pori-pori yang lebih sedikit dan ukurannya kecil. Dan dari hasil analisis EDX untuk beton dengan campuran komposisi pasir merah 3% diperoleh kandungan unsur terbesar Oksigen (O), Kalsium (Ca), Silika (Si), dan Besi (Fe). Unsur Silika mengalami peningkatan dibandingkan sampel tanpa campuran pasir merah.

Taufik, et al (2017) melakukan penelitian tentang Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah *Foaming Agent* Bata ringan merupakan bahan bangunan alternatif pengganti bata merah untuk dinding bangunan. Pada umumnya berat bata ringan berkisar antara 600-1800 Kg/m<sup>3</sup>. Dalam penelitian ini bata ringan menggunakan *foam agent* dengan metode CLC (*Cellular Lightweight Concrete*). Berat pasir yang dicampurkan bata ringan dengan jumlah variasi 0,3%, 0,6%, 0,9%, 1,2%, dan 1,5%. Hasil kuat tekan optimum didapat pada varian 0,9%. Gelembung udara dalam campuran mortar menghasilkan material yang berstruktur, yang mengandung rongga udara dengan ukuran antara 0,1mm sampai 1,0 mm dan tersebar merata sehingga menjadikan sifat bata yang lebih baik untuk menghambat panas dan lebih kedap udara. Perawatan yang dipakai dengan cara penyimpanan didalam ruangan. Benda uji yang dibuat dengan ukuran 60 cm x 20 cm x 7,5 cm bertujuan mengetahui pengaruh *foam agent* terhadap kuat tekan bata dengan standar pengujian (SNI 03-6825-2002). Hasil penelitian nilai kuat tekan pada umur 7 hari yaitu 0,489 MPa, 14 hari 0,578 MPa, dan 28 hari yaitu 0,667 MPa. Hasil penelitian bata ringan bisa bertahan di suhu < 500°C. Hasil penelitian dapat meredam suara sebesar 3%. Hasil pengujian SEM dan EDX *foam agent* berfungsi sebagai pembuat gelembung udara yang terdapat antara lekatan agregat dengan pasta semen.

Widiatmoko, et al (2016) melakukan penelitian tentang Pengaruh Penambahan Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Dan Penyerapan Air Bata Ringan Jenis *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan sekam padi terhadap kuat tekan dan penyerapan air beton ringan seluler. Variasi sekam padi yang ditambahkan pada beton ringan adalah 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1%. Uji Kekuatan Kompresif dan Uji Serapan Air dilakukan dengan standar SNI 3421-2011 dan SNI 03-0349-1989. Uji kepadatan dilakukan untuk memastikan sampel memenuhi syarat beton ringan. Pengamatan selama percobaan dan uji menunjukkan bahwa beton ringan dengan penambahan 0,5% sekam padi memiliki nilai kekuatan tekan tertinggi yaitu 5,30 Mpa. Nilai penyerapan air berbanding lurus dengan penambahan sekam padi, dimana nilai tertinggi ditunjukkan pada penambahan 1% sekam padi. Meningkatnya nilai penyerapan air terjadi karena sekam padi bisa menahan air dan tidak mudah membuang kadar air saat dikeringkan.

Prayitno, et al (2021) Melakukan penelitian Analisa Berat Isi Dan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan *Foam Agent* Dengan Bahan Tambah Serbuk Gypsum. Tujuan dari penelitian ini Untuk mengetahui pengaruh penambahan *foam agent* dan serbuk gypsum terhadap berat dan kuat tekan pada bata ringan dengan bahan campuran semen, pasir sungai bengawan solo dan campuran semen, pasir gunung dari muntilan. Metode yang digunakan adalah dengan membuat benda uji coba dengan ukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm. Hasil penelitian menunjukkan berat isi bata ringan dengan campuran foam agent 0,8 % dengan bahan tambah serbuk gypsum diperoleh hasil sebesar 6,76 % lebih berat menggunakan campuran dengan pasir gunung muntilan daripada menggunakan pasir sungai bengawan solo yang hanya mencapai 1231,47 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan kuat tekan karakteristik bata ringan menggunakan bahan tambah serbuk gypsum dengan menggunakan *foam agent* 0,8 % memperoleh hasil sebesar 3,05 % lebih tinggi menggunakan campuran pasir gunung muntilan dari pada menggunakan pasir sungai bengawan solo yang hanya mencapai 10,82 MPa.

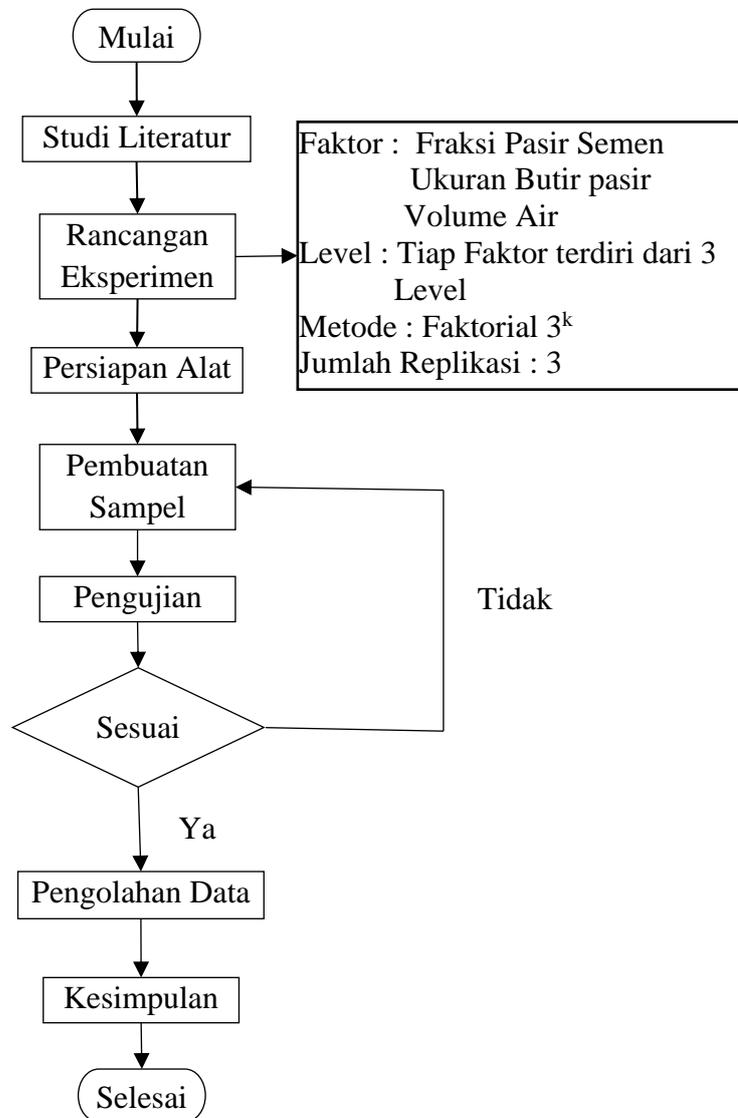
Suharyanto, et al (2021) Melakukan penelitian tentang Analisis Pengaruh Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan Bata Ringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh serbuk kayu terhadap kuat tekan, berat jenis, dan penyerapan. Hasil penelitian nilai kuat tekan pada umur 28 hari meningkat 6,05%, 30,98%, dan 73,62% dari bata ringan normal. Hasil penelitian berat jenis menurun dari 783,3 Kg/m<sup>3</sup> hingga mencapai 946,8 Kg/m<sup>3</sup>, dan hasil penelitian penyerapan mengalami peningkatan yaitu dari 12,31% hingga 10,04%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sampai pada penambahan 15% serbuk kayu, untuk berat jenis bata ringan masih memenuhi standar yang berlaku, sehingga dapat digunakan.

Putra, et al (2022) Melakukan penelitian tentang Analisis Kuat Tekan Dan *Workability* Bata Ringan *Cellular Lightweight Concrete* Dengan Bahan Tambah Substitusi Semen Penelitian ini bertujuan mengetahui komposisi optimal bata ringan *cellular lightweight concrete*, dengan mengganti jumlah semen dalam campuran bata ringan menggunakan kalsium karbonat berdasarkan kuat tekan sampel. Benda uji berbentuk kubus dibuat memiliki ukuran setiap sisi 10 cm dengan 5 variasi substitusi kapur mentah kalsium karbonat 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari jumlah semen, setiap variasi memiliki 12 sampel. Selanjutnya melakukan pengujian kuat tekan pada umur 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Hasil nilai kuat tekan sampel pada umur 28 hari untuk variasi 0% sebesar 0,740 MPa, variasi 5% sebesar 0,783 MPa, variasi 10% sebesar 0,907 MPa, variasi 15% sebesar 1,423 MPa, dan variasi 20% sebesar 0,913 MPa. Benda uji bata ringan dengan ukuran sebenarnya dibuat berdasarkan kuat tekan optimum dari pengujian sampel, dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 10 cm dan tinggi 20 cm sebanyak 8 sampel. Hasil nilai kuat tekan bata ringan pada umur 28 hari dengan variasi 15% kalsium karbonat sebesar 1,317 MPa. Kesimpulan dari penelitian ini bahwa variasi 15% kalsium karbonat dari berat semen menghasilkan kuat tekan sampel yang paling tinggi, dengan tambahan 0,68 MPa atau 92,34% dari nilai kuat tekan sampel tanpa kalsium karbonat.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1. Tahapan Penelitian

Dalam proses penelitian ini mengikuti tahapan-tahapan, yang dimulai dari pemilihan judul, mempersiapkan alat serta bahan, mencetakan spesimen dan melakukan uji. Kemudian hasil maksimum akan didapatkan, dilanjutkan pengolahan data, menganalisa dan membuat kesimpulan. Tahap-tahap selengkapnya ditunjukkan pada gambar 3.1.



Tabel 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Studi Literatur

Studi literatur merupakan pengumpulan data awal untuk referensi penelitian. Salah satunya yaitu mengetahui permasalahan yang akan dihadapi dan menyusun rancangan kerja yang akan dilakukan. Eksperimen dilakukan dengan membuat rancangan variasi untuk pembuatan benda uji sebagai berikut:

1. Fraksi pasir, semen.
2. Butir pasir.
3. Volume air.

Penelitian ini dilakukan dengan metode full faktorial desain  $3^k$  sehingga didapatkan jumlah sampel sebanyak 27 sampel. Menurut Montgomery (2017), bahwa replikasi adalah pengulangan eksperimen (*repeat run*) setiap kombinasi faktor secara independen. Jika terdapat pengulangan kombinasi faktor sampel sebanyak 5 kali maka dikatakan 5 replikasi. Berdasar pada pernyataan tersebut maka dalam penelitian ini akan dilakukan replikasi sebanyak 3 kali pengulangan sehingga didapatkan jumlah total sampel sebanyak 81 sampel.

### 3.3. Rancangan Eksperimen

Tabel 3. 2 Rancangan Eksperimen

No	Fraksi (cm <sup>3</sup> )		Air (ml)	Ukuran Butir Pasir (mm)
	Pasir	Semen		
1.	20	10	183	4.760
2.	20	10	150	4.760
3.	20	10	116	4.760
4.	15	15	183	4.760
5.	15	15	150	4.760
6.	15	15	116	4.760
7.	10	20	183	4.760
8.	10	20	150	4.760

No	Fraksi (cm <sup>3</sup> )		Air (ml)	Ukuran Butir Pasir (mm)
	Pasir	Semen		
9.	10	20	116	1.190
10.	20	10	183	1.190
11.	20	10	150	1.190
12.	20	10	116	1.190
13.	15	15	183	1.190
14.	15	15	150	1.190
15.	15	15	116	1.190
16.	10	20	183	1.190
17.	10	20	183	1.190
18.	10	20	150	1.190
19.	20	10	116	0.149
20.	20	10	183	0.149
21.	20	10	150	0.149
22.	15	15	116	0.149
23.	15	15	183	0.149
24.	15	15	150	0.149
25.	10	20	116	0.149
26.	10	20	183	0.149
27.	10	20	150	0.149

### 3.4. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada ini penelitian yaitu:

1. Cetakan sampel Bata Ringan dibuat dengan ukuran 5cm x 5cm x 10cm, ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Cetakan sampel

2. *Mixer* berfungsi untuk pencampuran bahan bata ringan ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Mixer

3. *Foam generator* yang digunakan untuk pembuatan busa (foam) ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Foam Generator

4. Alat uji tekan.

Pengujian tekan menggunakan mesin Zwick Roell Z020 ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Mesin Zwick Roell Z020

5. Ayakan

Ayakan yang digunakan *mesh* nomor 4, 16, 100, dapat dilihat pada lampiran 2. Untuk menentukan ukuran butir pasir yang akan digunakan dalam pembuatan sampel bata ringan ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Ayakan Pasir

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Foam agent .
2. Pasir.
3. Air.
4. Semen portland tipe 1.

### **3.5. Prosedur Pembuatan Bata Ringan**

Cara pembuatan bata ringan yang dilakukan:

1. Proses pengayakan pasir ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 pengayakan pasir

2. Pembuatan foam agent menggunakan foam generator yang ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Pembuatan Foam Agent

3. Mencampurkan pasir, semen portland, foam agent, dan air dengan komposisi yang sudah disiapkan. Aduk menggunakan *mixer* agar campuran merata yang ditunjukkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Proses pencampuran

4. Menyiapkan cetakan sampel dengan ukuran yang telah ditentukan yang ditunjukkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Cetakan

5. Tempat cetakan diberikan pelumas (oli) agar tidak lengket pada saat dikeluarkan dari tempat cetakan. Selanjutnya campuran bata ringan siap dicetak.
6. Mengeringkan bata ringan yang telah dibuka dari cetakan di ruang terbuka (terkena sinar matahari) yang ditunjukkan pada gambar 4.0.



Gambar 4.0 Proses Pengeringan Bata Ringan

7. Memberi nomor sampel pada bata ringan yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sampel Bata Ringan

8. Selanjutnya siap diuji kuat tekan.

### 3.1. Tahap Pengujian

Langkah-langkah dalam pengujian dilakukan sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat uji dan sampel bata ringan yang akan dilakukan pengujian yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



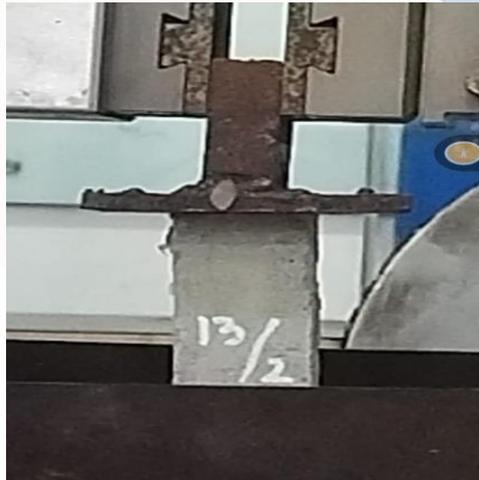
Gambar 4.2 Alat Uji Tekan

2. Melakukan pengujian densitas yang ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Proses Penimbangan Bata Ringan

3. Melakukan pengujian uji tekan sampel bata ringan sesuai dengan nomor kode pada sampel bata ringan yang ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Proses Pengujian Kuat Tekan

5. Mencatat data yang didapat pada saat pengujian sampel bata ringan.

### 3.2. Teknik Analisis Data

Setelah mendapatkan data pada saat melakukan pengujian kuat tekan sampel bata ringan, kemudian dilanjutkan pada proses pengolahan data atau analisa data yang menggunakan analisa ragam.

### **3.3. Kesimpulan**

Pada tahap ini, data yang telah dianalisa dibuat sebuah kesimpulan yang berhubungan tujuan penelitian.



## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Pengujian

Pengambilan data eksperimen dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan rancangan penelitian *Full Faktorial Design 3<sup>k</sup>*. Variabel proses yang divariasikan dalam penelitian ini adalah fraksi pasir, semen, butir pasir dan volume air. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pengujian denisitas dan perhitungan porositas. pengambilan data dalam penelitian ini menggunakan 27 variasi sampel dengan 3 kali replikasi sehingga jumlah keseluruhan 81 sampel. Keseluruhan sampel dicetak dengan rancangan eksperimen yang telah dibuat.

### 4.2. Hasil Uji Kuat Tekan

Tabel 4. 1 Data Hasil Uji Kuat Tekan

NO	Kuat Tekan (Mpa)		
	Sampel	Replikasi 1	Replikasi 2
1.	15,6	20,4	24,9
2.	13,7	12,0	24,9
3.	12,0	8,39	5,77
4.	6,81	5,85	6,83
5.	7,45	9,36	9,62
6.	3,57	6,90	5,89
7.	4,36	4,09	4,32
8.	2,63	3,17	1,75
9.	5,00	5,89	6,00
10.	15,0	10,5	5,77
11.	17,7	15,6	16,9
12.	21,9	18,7	21,4
13.	9,77	12,8	13,6

NO	Kuat Tekan (Mpa)		
	Sampel	Replikasi 1	Replikasi 2
14.	8,70	7,55	11,3
15.	9,07	9,57	9,91
16.	13,7	17,4	15,6
17.	6,48	8,48	5,29
18.	10,5	9,92	12,3
19.	3,45	3,34	4,47
20.	5,50	5,90	5,50
21.	3,50	3,49	3,03
22.	2,44	2,55	1,71
23.	8,83	11,3	5,66
24.	5,05	3,62	4,17
25.	4,88	4,82	5,62
26.	11,2	5,18	8,53
27.	13,0	13,3	13,9

### 4.3. Analisa Kuat Tekan

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.

Untuk menentukan nilai respon ( $y$  = Data kuat tekan Replikasi 1, 2, dan 3) dan nilai penjumlahan setiap faktor. Maka dibuatlah tabel data kuat tekan pada Microsoft Excel, penempatan data kuat tekan pada tabel harus sesuai dengan desain eksperimen yang telah dibuat.

Tabel 4.2 Data Kuat Tekan pada Microsof Excel

fraksi Pasir, semen (A)	Volume Air (B)								
	183			150			116		
	ukuran butir pasir (C)								
	4	16	100	4	16	100	4	16	100
20cm <sup>3</sup> .	15,60	15,00	3,45	6,81	9,77	2,44	4,36	13,70	4,88
10cm <sup>3</sup>	20,40	10,50	3,43	5,58	12,80	2,55	4,09	17,40	4,82
	24,90	5,77	4,47	6,83	13,60	1,71	4,32	15,60	5,62
15cm <sup>3</sup> .	13,70	17,70	5,50	7,45	8,70	8,83	2,63	6,48	11,20
15cm <sup>3</sup>	12,00	15,60	5,90	9,36	7,55	11,30	3,17	8,48	5,18
	8,39	16,90	5,50	9,62	11,30	5,66	1,75	5,29	8,53
10cm <sup>3</sup> .	5,77	21,90	3,50	3,57	9,07	5,05	5,00	10,50	13,00
20cm <sup>3</sup>	6,81	18,70	3,49	6,90	9,57	3,62	5,89	9,92	13,30
	5,58	21,40	3,03	5,89	9,91	4,17	6,00	12,30	13,90

Perhitungan sum of squares total dihitung dengan persamaan 2.1

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{(\sum y)^2}{abcn}$$

$$SS_T = [(15,6)^2 + (20,4)^2 + (24,9)^2 \dots + (11,3)^2] - \frac{506673,48}{81}$$

$$= 8452,2047 - \frac{506673,48}{81}$$

$$SS_T = 2196,9766 \text{ MPa}$$

Dengan demikian didapatkan nilai  $SS_T$  sebesar 2196,97.

Perhitungan sum of squares fraksi pasir, semen menggunakan persamaan 2.2

$$SS_A = \frac{1}{bcn} \sum_{j=1}^a y_j^2 - \frac{(\sum y)^2}{abcn}$$

$$SS_A = \frac{1}{27} \times [(86960,11)+( 39844,15)+( 47223,64)] - \frac{506673,48}{81}$$

$$= 174027,90 - \frac{506673,48}{81}$$

$$SS_A = 190,25 \text{ MPa}$$

Sehingga didapatkan nilai SSps sebesar 190,25. MPa

Perhitungan sum of squares butir pasir menggunakan persamaan 2.3

$$SS_B = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b y_j^2 - \frac{(\sum y)^2}{abcn}$$

$$SS_B = \frac{1}{27} \times [(45101,0)+( 112499,9)+( 26905,8)] - \frac{506673,48}{81}$$

$$= 184506,7 - \frac{506673,48}{81}$$

$$SS_B = 578,35 \text{ MPa}$$

Sehingga dihasilkan SSbutir pasir sebesar 578,35. MPa

Perhitungan sum of squares volume air menggunakan persamaan 2.4

$$SS_C = \frac{1}{abn} \sum_{j=1}^c y_j^2 - \frac{(\sum y)^2}{abcn}$$

$$SS_C = \frac{1}{27} \times [(57792,16)+( 54601,67)+( 56520,31)] - \frac{506673,48}{81}$$

$$= 168914,14 - \frac{506673,48}{81}$$

$$SS_C = 0,85 \text{ MPa}$$

Dengan demikian didapatkan nilai SSvolume air sebesar 0,85. MPa

Rangkuman analisa varian ditunjukkan pada Tabel berikut ini.

Tabel 4. 3 Anova kuat tekan

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Hitung	F-Tabel
Volume Air	2	0,85	0,851	0,426	0,02	3,12
Fraksi semen pasir	2	190,25	190,250	95,125	4,93	3,12
Ukuran butir pasir	2	578,35	578,354	289,177	14,99	3,12
Error	74	1427,52	673,843	19,29		
Total	80	2196,97				

Analisa pada Tabel 4.2 didapat bahwa nilai F tabel pada volume air yaitu 3,12. Sedangkan nilai F hitung pada volume air yaitu 0,02. 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 3,12, sedangkan nilai F-hitung dari fraksi pasir, semen yaitu 4,93. 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 3,12 sedangkan nilai F hitung pada butir pasir sebesar 14,99. Sehingga nilai F tabel lebih kecil dari F hitung. Untuk itu  $H_0$  ditolak. Untuk menentukan nilai F-tabel ditunjukkan pada lampiran 8.

#### 4.4. Hasil Uji Densitas

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Densitas

Sampel	Densitas (Kg/m <sup>3</sup> )		
	Replikasi	Replikasi	Replikasi
	1	2	3
1	1.940,30	1.874,56	1.902,36
2	1.598,60	1.518,24	1.641,08
3	1.317,52	1.442,72	888,72
4	1.949,16	1.717,36	1.582,28
5	1.951,76	2.095,40	2.088,20
6	2.332	2.312,80	2.287,68
7	956	1.000	2.236
8	1.436	1.276	1.324
9	1.060	1.128	1.068
10	1.375,20	1.411,68	1.420,84
11	1.699,08	1.763,60	1.585,96
12	888,44	1.383,96	1.226,48
13	1.586,60	1.757,12	1.313,76
14	1.904	1.809,44	1.904,76
15	1.996,28	1.854,08	1.958,44
16	1,100	1.000	1.020
17	1.540	1.756	1.696
18	1.164	1.240	1.220
19	981,96	1.020,80	965,96

Densitas (Kg/m <sup>3</sup> )			
Sampel	Replikasi	Replikasi	Replikasi
	1	2	3
20	993,48	1.143,60	799,20
21	1.480,76	1.540,76	1.439,00
22	1.583,12	1.911,20	1.713
23	1.731,24	1.870,40	1.616,24
24	2.149,12	1.946,44	1.972,72
25	1.468	1.656	1.600
26	1.624	1.772	1.692
27	1.716	1.664	1.676

#### 4.5. Analisa Densitas

Hipotesis fraksi pasir, semen

H<sub>0</sub>: fraksi pasir, semen tidak berpengaruh terhadap densitas.

H<sub>1</sub>: fraksi pasir, semen berpengaruh densitas.

Hipotesis volume air

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

H<sub>1</sub>: Volume air berpengaruh densitas.

Hipotesis ukuran butir pasir.

H<sub>0</sub>: Ukuran butir pasir tidak berpengaruh terhadap densitas.

H<sub>1</sub>: Ukuran butir pasir berpengaruh densitas.

Untuk menentukan nilai respon ( $y = \text{Data dari Replikasi 1, 2, dan 3}$ ) dan nilai penjumlahan setiap faktor maka dibuatlah tabel data densitas pada Microsoft Excel, penempatan data perhitungan densitas pada tabel harus sesuai dengan desain eksperimen yang telah dibuat.

Tabel 4.5 Data Densitas Pada Microsof Excel

Fraksi	Volume Air (B)								
Pasir,	183			150			116		
semen	ukuran butir pasir (C)								
(A)	4	16	100	4	16	100	4	16	100
20cm <sup>3</sup> .	1940	1375	982	1949	1587	1583	956	1100	1468
	1875	1412	1020	1717	1757	1911	1000	1000	1656
10cm <sup>3</sup>	1902	1421	966	1582	1313	1713	2236	1020	1600
	1599	1699	993	1952	1906	1740	1436	1540	1624
15cm <sup>3</sup> .	1518	1764	1144	2095	1809	1870	1276	1756	1772
	1641	1586	799	2088	1905	1616	1324	1696	1692
10cm <sup>3</sup> .	1318	888	1481	2332	1996	2149	1060	1164	1716
	1443	1384	1540	2313	1854	1946	1128	1240	1664
20cm <sup>3</sup>	889	1226	1439	2288	1958	1973	1068	1220	1676

Perhitungan sum of squares total dihitung dengan persamaan (1) didapatkan nilai SST sebesar 11416646,74 Kg/m<sup>3</sup>. Perhitungan sum of squares volume air menggunakan persamaan (2) didapatkan nilai SS volume air sebesar 271445,42 Kg/m<sup>3</sup>. Perhitungan sum of squares fraksi pasir, semen menggunakan persamaan (3) didapatkan nilai SSps sebesar 4340755,16 Kg/m<sup>3</sup>. Perhitungan sum of squares butir pasir menggunakan persamaan (4) dihasilkan SSbutir pasir sebesar 214124,82 Kg/m<sup>3</sup>.

Tabel 4. 6 Anova Densitas

Source of Variation	SS	DF	MS	F-Hitung	F-Tabel
Fraksi Pasir:Semen	4340755,16	2	2170377,58	24,37	3,12
Butir Pasir	214124,82	2	107062,41	1,20	3,12
Volume Air	271445,42	2	135722,71	1,52	3,12
Error	6590321,35	74	89058,40		
Total	11416646,74	80			

Analisis pada Tabel 4.4 didapat bahwa nilai F tabel (titik kritis) pada fraksi pasir, semen yaitu 3,12, nilai F hitung dari fraksi pasir, semen yaitu 24,37. Sedangkan nilai F table lebih kecil dari F tabel sehingga  $H_0$  ditolak. Dengan demikian fraksi pasir, semen berpengaruh terhadap densitas komposit.

Nilai F tabel pada butir pasir yaitu 3,12, Sedangkan nilai F hitung pada butir pasir yaitu 1,20. Dengan demikian nilai F table lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  gagal ditolak.

Nilai F tabel pada volume air yaitu 3,12, Sedangkan nilai F hitung pada volume air yaitu 1,52 dengan demikian nilai F tabel lebih kecil dari F hitung sehingga  $H_0$  gagal ditolak.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Faktor fraksi pasir, semen dan ukuran butir pasir terbukti secara statistik mempengaruhi kekuatan tekan bata ringan. Faktor fraksi pasir, semen level 1, volume air level 1, dan ukuran butir pasir level 1 menghasilkan data kuat tekan terbesar yaitu 24,90 MPa. Sedangkan untuk faktor volume air tidak berpengaruh terhadap kuat tekan.
2. Pada pengujian nilai densitas, hanya faktor fraksi pasir, semen yang 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.

#### **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, ada beberapa hal yang ingin penulis sarankan agar penelitian selanjutnya lebih baik lagi, yaitu sebagai berikut:

1. Pembuatan cetakan harus dibuat sangat presisi agar tidak ada bagian atau tidak ada celah untuk campuran adonan keluar.
2. Agar tidak sulit mengeluarkan sampel bata ringan dari cetakan, sebaiknya cetakan sampel bata ringan diolesi minyak atau oli terlebih dahulu sebelum campuran bata ringan dituangkan ke dalam cetakan.

## DAFTAR PUSAKA

- Bella, R. A., Sinlae, A. M., & Pah, J. J. (2016). Pengaruh Ukuran Diameter Pipa Outlet Foam Generator terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air Bata Ringan Jenis CLC. *Jurnal Teknik Sipil*, 5 (2), 163-174.
- Cunradiana, M., Ndale, F. X., & Suku, Y. L. (2020). Pengaruh Penggunaan Tepung Bata Ringan Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. *Teknosiar*, 14 (1), 20-27.
- Dumendehe, T. D., & Asnan, M. N. (2022). Pengaruh Kualitas Bata Ringan terhadap Kerusakan Bangunan Gedung.
- Dumyati, A., & Manalu, D. F. (2015, June). Analisis Penggunaan Pasir Pantai Sampur Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. In FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil) (Vol. 3, No. 1, 1-13).
- Eban, K. K., Utomo, S., & Simatupang, P. H. (2018). Perbandingan Kuat Tekan Bata Ringan CLC Menggunakan Pasir Gunung Boleng dan Pasir Takari. *Jurnal Teknik Sipil*, 7 (2), 163-170.
- Hanafi, M. F., Muttaqin, M., & Idris, Y. (2019). Perbandingan Kuat Tekan Dinding Tanpa Plesteran dengan Plesteran Trassram Akibat Pengaruh Perendaman Air Tawar, Air Payau dan Air Asin. *Journal of The Civil Engineering Student*, 1 (2), 78-85.
- Herastuti, K. A. (2016). Studi Analisis Pengaruh Variasi Ukuran Butir batuan terhadap Sifat Fisik dan Nilai Kuat Tekan. *ReTHI*.
- Irfandi, A. (2021). Pengaruh Mesh Terhadap Distribusi Tegangan Puntir Dan Kekuatan Las Pada Baja Karbon Rendah (Doctoral dissertation, UMSU).
- Karijanto, M. A., Wijaya, A. R., & Sugiharto, H. (2013). Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Dan Tarik Perekat Bata Ringan. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 2 (2).
- Mulyono, T., & Ir, M. T. (2003). *Teknologi Beton*, CV. Andi Offside Yogyakarta Indonesia.
- Mulyono, T. (2007). Kapur Sebagai Bahan Tambah Untuk Beton Normal. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 2 (1), 11-11.

- Montgomery, D.C. (2017). *Design of Analysis of Experiments*. Arizona.
- Nasution, F. U. (2017). Pengaruh Variasi Ukuran Butiran Pasir Merah Labuhan Batu Selatan Untuk Meningkatkan Kekuatan Beton (Doctoral dissertation, Unimed).
- Nugraha, P. (2007). *Antoni, Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Nugroho, dkk. (2018). Studi Tekno-Ekonomi Bata CLC (*Cellular Lightweight Concrete*) Sebagai Pengganti Bata Konvensional. *Rekayasa Sipil*, Vol. 7 No. 1. 55 – 62.
- Pah, J. J., Sehandi, K., & Bella, R. A. (2019). Pengaruh Variasi Ukuran Butiran Agregat Terhadap Kuat Tekan Bata Ringan Jenis CLC. *Jurnal Teknik Sipil*, 8 (1), 81-90.
- Purba, R. E. S., Irwan, I., & Nurmaidah, N. (2017). Pemanfaatan Limbah Serbuk Gergaji Kayu Sebagai Substitusi Campuran Bata Ringan Kedap Suara. *Journal of Civil Engineering Building and Transportation*, 1 (2), 87-95.
- Rumiati, M., Suryanita, R., & Maizir, H. (2021). Pengaruh Penggunaan Hidrogen Peroksida Terhadap Kuat Tekan Bata Ringan. *Journal of Infrastructure and Civil Engineering*, 1 (1), 57-67.
- Suratmin, S., Satyarno, I., & Tjokrodinuljo, K. (2007). Pemanfaatan Kulit Ale-Ale sebagai Agregat Kasar dalam Pembuatan Beton. In *Civil Engineering Forum Teknik Sipil* (Vol. 17, No. 2, 530-538).
- Suryani, N. (2015). Fabrikasi Bata Ringan Tipe Cellular Lightweight Concrete dengan Bahan Dasar Pasir Vulkanik Gunung Kelud Sebagai Pengganti Fly Ash. *Prosiding: Inovasi Fisika Indonesia*, 4 (3).
- Tansajaya, A. (2008). Studi pembuatan cellular lightweight concrete (CLC) dengan menggunakan beberapa foaming agent (Doctoral dissertation, Petra Christian University).

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Daftar Riwayat Hidup.

### DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Sapt Amanda Putra  
Tempat, Tanggal Lahir : Mentok, 06 Oktober 2001  
Jenis Kelemanin : Laki-Laki  
Agama : Islam  
Pendidikan Terakhir : DIV (Teknik Mesin dan Manufaktur)  
Alamat : KAMPUNG TEGAL REJO  
Email : saptaputra111@gmail.com

#### Pendidikan Formal

- a. SD MUHAMMADIYAH Muntok
- b. SMP Negeri 1 Muntok
- c. SMK Bina Karya 1 Muntok
- d. POLMAN Negeri Bangka Belitung

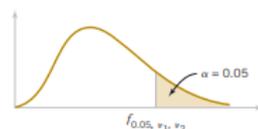
Lampiran 2. Tabel Konversi Mesh ke Milimeter

MESH TO MICRON CONVERSIONS CHART			
MESH	MICRONS	INCHES	MILLIMETERS
3	6730	0.2650	6.730
4	4760	0.1870	4.760
5	4000	0.1570	4.000
6	3360	0.1320	3.360
7	2830	0.1110	2.830
8	2380	0.0937	2.380
10	2000	0.0787	2.000
12	1680	0.0661	1.680
14	1410	0.0555	1.140
16	1190	0.0469	1.190
18	1000	0.0394	1.000
20	841	0.0331	0.841
25	707	0.0280	0.707
30	595	0.0232	0.595
35	500	0.0197	0.500
40	400	0.0165	0.400
45	354	0.0138	0.354
50	297	0.0117	0.297
60	250	0.0098	0.250
70	210	0.0083	0.210
80	177	0.0070	0.177
100	149	0.0059	0.149
120	125	0.0049	0.125
140	105	0.0041	0.105
170	88	0.0035	0.088
200	74	0.0029	0.074
230	63	0.0024	0.063
270	53	0.0021	0.053
325	44	0.0017	0.044
400	37	0.0015	0.037
550	25	0.0009	0.025
800	15	0.0006	0.015
1250	10	0.0004	0.010

1 Micron = 1 / 1000 MM or 1 Micron (Micrometer) = 1 / 1,000,000 of a Meter  
 1 Meters = 0.001 Kilometer = 1000 Millimeters = 1,000,000 Micron (Micrometers)  
 A Micron is one Millionth of a Meter = 0.00003937 Inches



### Lampiran 3. Tabel Distribusi F



**TABLE • VI** Percentage Points  $f_{\alpha, v_1, v_2}$  of the F Distribution (Continued)

		Degrees of freedom for the numerator ( $v_1$ )																		
$v_2$	$v_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$
	1	1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2		18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	1	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
	2	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
4	1	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
	2	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
5	1	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
	2	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
6	1	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
	2	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
7	1	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
	2	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
8	1	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
	2	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
9	1	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
	2	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
10	1	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
	2	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
11	1	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
	2	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
12	1	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
	2	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
13	1	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
	2	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
14	1	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
	2	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
15	1	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
	2	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
16	1	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
	2	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
18	1	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
	2	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
20	1	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
	2	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

