BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bata merah adalah bahan bangunan tradisional yang digunakan dalam konstruksi karena kekuatannya yang tinggi dan ketahanan terhadap api. Namun, produksi bata merah menimbulkan beberapa masalah lingkungan yang signifikan, seperti penggunaan tanah liat yang berlebihan dan proses pembakaran yang menghasilkan emisi gas rumah kaca (CO_2) yang tinggi. Proses pembakaran bata merah membutuhkan suhu yang sangat tinggi, yang menyebabkan pemborosan energi dan kontribusi terhadap perubahan iklim (Wordl Bank 1998).

Sebagai respons terhadap isu-isu lingkungan yang ditimbulkan oleh bata merah, muncullah alternatif bahan bangunan yang lebih ramah lingkungan, yaitu bata ringan CLC (*Cellular Lightweight Concrete*). Bata ringan terbuat dari campuran semen, pasir, air, dan bahan pengembang yang menghasilkan struktur berpori dengan berat yang lebih ringan dan isolasi termal yang lebih baik. Bata ringan memiliki keunggulan dalam hal efisiensi energi, baik selama proses produksi maupun dalam penggunaan akhir bangunan, karena mengurangi konsumsi energi untuk pemanasan dan pendinginan. Meskipun demikian, produksi bata ringan tetap memerlukan bahan baku seperti semen yang memiliki dampak lingkungan.

Semen, salah satu komponen utama dalam produksi bata ringan dan beton, juga memiliki dampak lingkungan yang besar. Produksi semen menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) yang sangat tinggi karena proses pemanasan klinker di kiln.

Isu lingkungan ini mendorong pencarian bahan tambahan yang dapat mengurangi jejak karbon dari produksi semen, salah satunya adalah penggunaan *fly ash***.**

Fly ash adalah limbah industri hasil pembakaran batubara pada pembangkit listrik, yang kaya akan silika dan alumina, sehingga dapat digunakan untuk menggantikan sebagian semen dalam campuran beton dan mortir. pemanfaatan *fly ash* atau abu terbang di Indonesia masih tergolong rendah. Persentase pemanfaatan *fly ash* hanya mencapai 10-12%, dengan distribusi sebesar 73% di Pulau Jawa dan 27% di pulau-pulau lainnya. Hal ini menyebabkan penumpukan *fly ash* yang diperkirakan mencapai 10,4 juta ton per tahun pada tahun 2020 akibat aktivitas pengolahan limbah B3 yang diizinkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) (Ekaputri dan Bari, 2020). Meski *fly ash* berlimpah, pemanfaatannya masih terbatas karena dikategorikan sebagai limbah B3.

Dengan memanfaatkan *fly ash*, konsumsi energi dalam produksi semen dapat menjadi lebih efisien, yang pada gilirannya membantu menurunkan jejak karbon dalam industri konstruksi. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga membantu mengurangi penumpukan limbah industri yang dihasilkan oleh pembangkit listrik, menjadikannya solusi yang lebih berkelanjutan dalam sektor konstruksi.

Berdasarkan uraian latar belakang ini, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul **"Karakteristik Bata Ringan Menggunakan Libah *Fly Ash* Sebagai Bahan Subtitusi Semen."**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka pokok permasalahan penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh substitusi semen dengan limbah *fly ash* terhadap nilai kuat tekan bata ringan?
2. Menganalisis pengaruh substitusi semen dengan limbah *fly ash* terhadap nilai penyerapan bata ringan?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah;

1. Untuk mengetahui analisis pengaruh substitusi semen dengan limbah *fly ash* terhadap nilai kuat tekan bata ringan
2. Untuk mengetahui analisis pengaruh substitusi semen dengan limbah *fly ash* terhadap nilai penyerapan bata ringan

D. Batasan Masalah

Dari sekian permasalahan yang ada kami memiliki batasan masalah yang tidak dibahas dalam Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya memberikan batasan masalah sebagai berikut ini.

1. Bahan yang digunakan dalam pembuatan bata ringan.
    a. Limbah *fly ash* dari PLTU Barru.
    b. Agregat halus yang digunakan adalah pasir sungai Lasape Kab. Pinrang
    c. Semen yang digunakan adalah Semen Tonasa PCC
    d. Zat addictive yang digunakan sebagai busa pembuat pori-pori pada bata ringan adalah *foam Agent* maxx 102.

2. Penelitian ini menggunakan cetakan berbentuk kubus 10x10x10 cm.
3. Pengujian kuat tekan bata ringan dilakukan pada umur 7 dan 28 hari.
4. Pengujian uji daya serapan air pada umur 28 hari.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan nilai ekomonis *fly ash* dalam pemanfaatannya sebagai bahan subtitusi semen,
2. Menambah wawasan dan informasi tentang peningkatan kekuatan bata ringan dan daya serapan air dengan menggunakan *fly ash* dan zat addictive *foam Agent* maxx 102.

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, sistematika penulisan yang digunakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka ini berisi tentang landasan teori dan berbagai literatur berhubungan masalah yang akan dibahas.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada metode penelitian dijelaskan lokasi pengujian, waktu pengujian, alat dan bahan penelitian, serta dijelaskan hal-hal apa saja yang dilakukan dalam

penelitianini serta langkah kerjanya.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas analisis data berdasarkan hasil pengujian yang didapat selama di laboratorium.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan tahap akhir dari penyusunan tugas akhir yang menguraikan kesimpulan dan saran secara garis besar dan hasil penelitian yang dilakukan serta saran yang disampaikan untuk pembaca dan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAU PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Bata Ringan

Bata ringan dikenal sebagai *foamed concrete*, merupakan material yang dibuat dari campuran mortar dan *foam agent*. Pengaturan campuran ini menghasilkan bata dengan berat sekitar 600–1800 kg/m^3, menjadikannya lebih ringan dibandingkan bata konvensional.

Bata ringan adalah material berbasis semen yang dicampur dengan bahan tambahan seperti *fly ash* dan *foam agent* untuk menghasilkan struktur beton berpori. Material ini dikenal memiliki isolasi termal yang baik dan berat yang lebih ringan dibandingkan bata biasa. Menurut Nugraha et al. (2021), tujuan pembuatan bata ringan adalah untuk mengurangi tegangan struktural pada bangunan, mempercepat proses konstruksi, dan meminimalkan material yang digunakan saat pemasangan dinding. Terdapat dua jenis utama bata ringan, yaitu *Aerated Lightweight Concrete* (ALC) atau yang juga dikenal sebagai *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC), dan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC).

Bata ringan AAC adalah sejenis beton selular yang mengandung gelembung udara yang dihasilkan melalui reaksi kimia. Reaksi ini mirip dengan proses pembuatan roti, di mana bubuk atau pasta aluminium bertindak seperti ragi yang menyebabkan adonan mengembang. Bata ringan AAC dibuat dengan pasir khusus yang memiliki kandungan silika tinggi (> 95% SiO_2) dan digiling hingga ukuran

mikro. Seperti adonan roti, ekspansi adonan AAC tidak dapat dikendalikan sepenuhnya dan sering kali mengembang melebihi cetakan, sehingga perlu dipotong untuk mendapatkan dimensi yang diinginkan. Banyaknya gelembung udara memungkinkan AAC memiliki kerapatan yang rendah, yaitu sekitar 700-800 kg/m³.

Bata ringan CLC merupakan jenis beton selular yang mengalami proses curing secara alami. Dalam beton CLC, agregat kasar seperti kerikil digantikan oleh udara dengan menggunakan busa organik yang sangat stabil dan tidak bereaksi secara kimia saat pencampuran adonan. Busa berfungsi sebagai media yang membungkus udara. Proses fabrikasi dan peralatan yang digunakan untuk menghasilkan CLC standar, sehingga produksi CLC dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam proses pembuatan beton konvensional. Bata ringan CLC hanya memerlukan pasir, semen, air, dan busa dengan kerapatan yang dapat disesuaikan antara 350 hingga 1.800 kg/m³, serta kekuatan yang dapat dicapai mulai dari 1,5 hingga lebih dari 30 N/mm².

a. Kelebihan Bata Ringan

Berdasarkan (SNI 03-0349-1989) kelebihan bata ringan tersebut adalah sebagai berikut ini.

1) Memiliki bentuk yang sangat presisi dan seragam dalam jumlah yang banyak.
2) Tidak memerlukan siar yang banyak untuk perekat.
3) Pemasangannya lebih cepat sehingga menghemat biaya pelaksanaan.
4) Lebih ringan sehingga mengurangi beban pada struktur bangunan.

5) Kuat tekannya lebih tinggi
6) Lebih mudah dingakut.
7) Tidak menggunakan pasir pada saat plasteran.
8) Kedap suara.

b. Kekurangan Bata Ringan

Meski memiliki banyak kelebihan, Berdasarkan (SNI 03-0349-1989) kekurangan bata ringan tersebut adalah sebagai berikut ini.

1) Membutuhkan perekat khusus yaitu dengan semen instan yang sudah tersedia banyak dipasar
2) Membutuhkan tenaga pemasang yang sudah berpengalaman memasang bata ringan
3) Pada pekerjaan yang membutuhkan pemotongan bata, dapat menyisakan bata yang terbuang
4) Jika terkena air proses pengeringannya lama
5) Hanya di toko besar atau distributor yang menyediakan
6) Pembeliannya harus dengan jumlah yang banyak.
7) Harus menggunakan roskam bergerigi untuk menempelkan semen mortar

2. **Material Pembentuk Bata Ringan**

Untuk mendapatkan bata ringan yang berkualitas baik, perlu diperhatikan bahan pembuatnya. Material yang digunakan berpengaruh signifikan terhadap kualitas bata ringan yang dihasilkan. Material penyusun bata ringan antara lain :

a. Semen Portland

Semen portland adalah bahan pengikat vital dalam konstruksi beton yang

memiliki sifat hidrolis, artinya ia mengeras ketika dicampur dengan air dan mengikat bahan material menjadi satu kesatuan yang kuat. Ketika semen dicampur dengan air, hasilnya adalah pasta semen. Jika pasir ditambahkan ke campuran ini, maka akan menjadi mortar semen, dan jika kerikil ditambahkan, maka akan menjadi beton. Semen portland berfungsi untuk mengikat bahan bangunan lain seperti batu bata, batu kali, dan pasir, serta mengisi celah-celah di antara butiran agregat, Menurut ASTM C150 semen Portland dibagi menjadi 5 jenis, yaitu:

1) Jenis I, Semen portland untuk tujuan umum yang tidak memerlukan sifat-sifat khusus, seperti untuk bangunan, trotoar, jembatan, dan lainnya.
2) Jenis II, Semen portland yang tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang, sehingga lebih cocok untuk penggunaan di lingkungan yang mengandung sulfat seperti tembok di laut dermaga dan dinding penahan tanah tebal.
3) Jenis III, Semen portland dengan kekuatan awal tinggi yang memungkinkan pencapaian kekuatan signifikan dalam satu minggu. Digunakan ketika cetakan perlu dibongkar cepat atau struktur harus segera digunakan.
4) Jenis IV, merupakan semen portland tahan sulfat, dipakai untuk beton dimana menghadapi aksi sulfat yang panas. Umumnya dimana air tanah mengandung kandungan sulfat yang tinggi.
5) Jenis V, semen portland dengan panas hidrasi rendah. Dipakai untuk kondisi dimana kecepatan dan jumlah panas yang timbul harus minimum.

b. Agregat Halus

Agregat halus merupakan komponen penting dalam pembuatan beton, berfungsi sebagai pengisi antara butiran agregat kasar dan membantu dalam menciptakan ikatan yang lebih kuat dalam campuran beton. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6820-2002), agregat halus didefinisikan sebagai agregat dengan ukuran butir maksimal 4,76 mm yang berasal dari alam atau hasil alam. Selain itu, agregat halus olahan adalah agregat yang dihasilkan dari pecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau metode lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi. Agregat halus yang berkualitas baik tidak seharusnya mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat total, tidak boleh mengandung bahan organik dalam jumlah yang signifikan, harus terdiri dari butiran yang tajam dan keras, serta memiliki distribusi ukuran butiran yang bervariasi untuk memastikan ikatan yang efektif dalam campuran beton. Gradasi agregat halus juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi stabilitas dan kepadatan campuran beton, dengan persyaratan gradasi yang ditetapkan dalam berbagai standar seperti SNI 7656-2012.

c. Air

Air memainkan peran kunci dalam campuran beton karena merupakan komponen yang memicu reaksi hidrasi semen, suatu proses kimia yang menghasilkan produk ikat antara semen dan agregat. Menurut SNI 2847:2019, untuk mendapatkan beton yang baik dan berkualitas, jumlah air yang digunakan harus cukup untuk mencapai hidrasi semen secara optimal. Biasanya, hanya sekitar 25-30% dari berat semen yang diperlukan agar reaksi

hidrasi berjalan sempurna, membentuk ikatan yang kuat antara partikel agregat.

Namun, pada rasio air-semen (FAS) di bawah 0,3, campuran beton menjadi terlalu kental dan sulit untuk dikerjakan. Oleh karena itu, umumnya digunakan rasio FAS di antara 0,4 hingga 0,6 untuk meningkatkan kemudahan pengerjaan beton. Kelebihan air yang tidak bereaksi bertindak sebagai pelumas yang memungkinkan campuran beton untuk diaduk, dituangkan, dan dipadatkan dengan lebih baik. Walaupun demikian, rasio air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton karena adanya peningkatan porositas akibat air yang berlebih

d. *Foam Agent* Maxx 102

Foum agent atau agen pembentuk busa, adalah zat kimia yang memiliki peran penting dalam berbagai industri untuk menghasilkan dan menstabilkan busa. Zat ini bekerja dengan mengurangi tegangan permukaan cairan, sehingga memungkinkan terbentuknya gelembung udara yang stabil dan tahan lama. Prinsip kerjanya melibatkan interaksi molekul yang kompleks, di mana agen pembentuk busa membantu memisahkan molekul cairan dan membentuk lapisan tipis di sekitar gelembung udara.

Terdapat beberapa jenis *foum agent* yang umum digunakan, di antaranya surfaktan sintetis, protein alami, polisakarida, dan senyawa organik lainnya. Surfaktan, misalnya, merupakan jenis yang paling sering diaplikasikan dalam produk pembersih, kosmetik, dan industri makanan. Protein seperti albumin dari telur juga efektif dalam membentuk busa yang stabil, terutama dalam produk pangan dan farmasi. Polisakarida seperti guar gum berperan dalam

meningkatkan viskositas dan kestabilan busa, sementara bahan alami seperti saponin dapat menghasilkan busa secara natural.

Tabel 2. 1 Komposisi *Foam Agent* (sumber : Bahan Kimia Konstruksi dan Bahan Bangunan 2020)

Komponen	**Keterangan**	**Persentase (w/w)**
Surfaktan	Senyawa yang mengurangi tegangan permukaan dan membantu pembentukan busa. Contoh: Sodium Lauryl Sulfate (SLS), Alkyl Ether Sulfate	20-40%
Pengemulsi	Bahan yang menjaga stabilitas campuran air dan busa. Contoh: Polysorbate, Sorbitan Ester	5-15%
Air	Pelarut utama dalam campuran.	30-50%
Bahan Tambahan	Pengawet, pengental, atau zat lain yang meningkatkan performa. Contoh: Sodium Benzoate, Xanthan Gum	1-10%
Aditif Khusus	Zat yang meningkatkan sifat tertentu, seperti kekuatan atau daya tahan. Contoh: Silika, *Fly ash*	5-15%

Foam Agent Maxx 102 adalah salah satu jenis bahan pembusa yang sering digunakan dalam pembuatan beton ringan. Produk ini dikenal memiliki sifat pembusa yang stabil dan mampu menghasilkan gelembung-gelembung udara dengan ukuran yang sangat kecil, yang mendukung terciptanya struktur beton ringan yang kuat, kokoh, dan tahan lama. Selain itu, Maxx 102 juga memiliki keunggulan dalam segi waktu pengerjaan yang cepat serta dapat beradaptasi dengan berbagai kondisi iklim tanpa mengurangi kualitas atau ketahanan beton.

Foam Agent MAXX 102 umumnya terdiri dari komposisi utama berupa surfaktan yang berfungsi menurunkan tegangan permukaan air, sehingga memungkinkan terbentuknya gelembung udara stabil dalam campuran beton.

Selain itu, *foam Agent* ini mengandung bahan penstabil yang mempertahankan bentuk dan ukuran gelembung udara agar tidak mudah pecah selama pencampuran dan proses curing. Pengemulsi juga ditambahkan untuk memastikan distribusi gelembung udara secara merata dalam campuran beton. Komposisi ini bekerja bersama-sama untuk menghasilkan beton ringan dengan struktur berpori yang seragam, memberikan kekuatan struktural yang cukup baik sekaligus meningkatkan sifat isolasi termal dan akustik beton yang dihasilkan.

Dalam proses ini, *foam Agent* tidak bereaksi secara kimia dengan semen tetapi membentuk struktur berpori yang ringan. Struktur ini terbentuk melalui penggabungan gelembung udara yang terdispersi seragam dalam pasta semen. Karena agen pembusa ini menjaga stabilitas gelembung selama proses curing (pengerasan), hasilnya adalah beton dengan densitas lebih rendah, yang dikenal sebagai beton ringan atau *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Gelembung udara yang stabil ini tidak memengaruhi proses hidrasi semen tetapi mengurangi densitas beton secara keseluruhan, memberikan sifat isolasi termal dan akustik yang baik.

e. Fly ash

Fly ash adalah limbah hasil pembakaran batu bara yang umumnya digunakan dalam pembangkit listrik tenaga uap. Pada suhu antara 1250ºC hingga 1600ºC, bahan-bahan tahan api bergabung membentuk partikel berbentuk bola seperti kaca yang mengandung silica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), iron oxide (Fe_2O_3), dan unsur-unsur minor lainnya (Hidayat, 1986).

Komposisi dari *fly ash* bermacam-macam tergantung sumber pembakaran dan jenis batu bara yang digunakan. Berdasarkan ASTM C618, *fly ash* dibagi menjadi dua kelas yaitu *fly ash* kelas C dan *fly ash* kelas F, dimana komposisi penyusunnya berbeda seperti terlihat pada tabel 2.2. Standar yang ditentukan oleh ASTM menyatakan bahwa 75% dari fly ash harus memiliki ukuran kurang dari 45 mikrometer, dengan kandungan karbon dan kehilangan pembakaran di bawah 4%. (Hadi, 2000)

Tabel 2. 2 *Fly ash* Standar ASTM (Sumber: ASTM C618 – 96 Volume 04.02)

Senyawa	Kelas campuran mineral		
	F	N	C
$Si + Al_2O_3 + Fe_2O_3$, min, %	70	70	50
So_3, maks, %	4	5	5
Misture content, maks, %	3	3	3
Loss Of Ignition, maks, %	10	6	6
Alkali, Na_2O, maks, %	1.5	1.5	1.5

3. Karakteristik Bata Ringan

a. Kuat tekan

Kuat tekan adalah parameter yang menggambarkan kemampuan suatu material menahan beban per satuan luas hingga mencapai titik hancur akibat tekanan tertentu (SNI 03-1974-1990). Rumus pengujian kuat tekan menurut SNI SNI 03-6825-2002 adalah seperti yang diperlihatkan pada Persamaan 1

$$f'c = \frac{P}{A} \text{.....(1)}$$

Keterangan:

f'c = kuat tekan beton benda uji silinder (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Permukaan Benda Uji (mm^2)

Konversi mutu beton antara K ke fc dan fc ke K menurut PBI 1971 dan SNI 03-2847-2002 dengan menggunakan tabel 2.4

Tabel 2. 4 Konversi K ke fc dan fc ke K (sumber*:* PBI 1971 dan SNI 03-2847-2002)

MUTU BETON		K=fc/0,083	
Mpa		kg/cm^2	
fc	5	K	60,24
fc	10	K	120,48
fc	12	K	144,58
fc	15	K	180,72
fc	16	K	192,77
fc	20	K	240,96
fc	22,5	K	271,08
fc	25	K	301,20
fc	30	K	361,45
fc	35	K	421,69
fc	40	K	481,93

MUTU BETON		fc=Kx0,083	
kg/cm^2		Mpa	
K	100	fc	8,30
K	125	fc	10,38
K	150	fc	12,45
K	175	fc	14,53
K	200	fc	16,60
K	225	fc	18,68
K	250	fc	20,75
K	275	fc	22,83
K	300	fc	24,90
K	325	fc	26,98
K	350	fc	29,05

b. Daya serap air

Pengukuran daya serap air dilakukan dengan membandingkan perbedaan antara massa basah dan massa kering dalam bentuk persentase. Uji ini bertujuan untuk menentukan jumlah air yang diserap oleh benda uji setelah perendaman selama 24 jam, kemudian dihitung menggunakan persamaan 2:

$$\text{Serapan} = \frac{w2-w1}{w1}\ x\ 100\% \text{ .....(2)}$$

Keterangan:

W1 = Berat kering sampel setelah dioven 24 jam.

W2 = Berat sampel setelah direndam 24 jam.

4. Metode Pengujian Bata Ringan CLC

a. Kuat tekan

1) Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah:

a) Mesin tekan hidrolis dengan ketelitian 1 kgf,

b) Alat pemotong (gergaji).

2) Penyiapan benda uji

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan membuat.contoh uji menjadi bentuk kubus. Ukuran benda uji yang dibuat sesuai dengan ketebalan bata, misalnya jika tebal bata adalah 150 mm, maka dipotong menjadi kubus dengan ukuran (150 x 150 x 150) mm, untuk tebal bata 100 dipotong menjadi kubus dengan ukuran (100 x 100 x 100) mm dan jika tebal bata ringan 75 mm maka perlu dipotong menjadi kubus (75 x 75 x 75) mm. Ukuran kubus yang paling kecil adalah 75 mm untuk bata ringan tanpa agregat kasar. Untuk bata ringan dengan menggunakan agregat ringan atau beton ringan tanpa agregat halus, maka dimensi minimal adalah empat kali diameter maksimal agregat kasar.

Benda uji yang telah dipotong tersebut perlu ditentukan bidang kontaknya dengan permukaan alat uji, yaitu pada bidang tebal bata (dua sisi saling berseberangan yang tidak dipotong manual), sehingga dapat dijamin kerataan permukaannya.

Masing-masing bata ringan dipotong pada kedua ujungnya sehingga akan diperoleh 10 buah benda uji. Benda uji dibersihkan dari debu dengan semprotan udara, Selanjutnya, rendam objek uji dalam air selama 24 jam dan 30 menit. Jika objek mengapung, tambahkan beban dengan area kontak seminimal mungkin agar seluruh permukaan objek tenggelam dalam air.

3) Prosedur uji

Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

a) Angkat benda uji dari rendaman air dan gunakan kain basah untuk menghilangkan air yang berlebih.
b) Ukur panjang dan lebar benda uji dengan tingkat ketelitian hingga 1 mm.
c) Lakukan pengujian tekan menggunakan mesin penekan hidrolik, dengan tekanan diberikan pada permukaan datar, yaitu sisi tebal dari bata.
d) Teruskan penekanan hingga benda uji hancur, dengan kecepatan pembebanan sekitar 0,1 MPa per detik.
e) Hitung kekuatan tekan rata-rata dengan membagi total nilai yang diperoleh dengan jumlah benda uji, serta catat nilai individu tertinggi dan terendah.

b. Daya Serap Air

1) Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah:

a) Mistar sorong atau penggaris dengan ketelitian 1 mm,
b) Timbangan dengan ketelitian 0,01 g
c) Oven dengan temperatur (110 + 5) °C.

2) Penyiapan benda uji

Sebanyak empat buah benda uji dipotong dari kedua ujung bata utuh dengan ukuran 200 mm x 200 mm x tebal bata ringan yang ada. Benda uji kemudian dibersihkan dari debu dengan menggunakan penyemprot udara dan ditimbang beratnya (Ba g).

3) Prosedur uji

a) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu (110 ± 5) °C selama minimal 24 jam hingga mencapai berat stabil. Berat dianggap stabil jika selisih antara dua kali penimbangan dalam selang waktu 30 menit tidak melebihi 0,05 g.
b) Timbang benda uji untuk memperoleh berat tetapnya (B_{ko}g).
c) Ukur dimensi benda uji, termasuk panjang, lebar, dan tebal, untuk menghitung volumenya (V cm^3).
d) Rendam benda uji dalam air selama 24 jam ± 30 menit. Jika benda uji mengapung, tambahkan beban dengan kontak minimal agar seluruh permukaannya tetap terendam.
e) Keluarkan benda uji dari perendaman, bersihkan kelebihan air pada permukaannya menggunakan kain basah, lalu timbang kembali benda uji tersebut (C g).

B. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya menjadi referensi bagi penulis untuk memperkaya teori dalam penelitian yang dilakukan. Meskipun judul penelitian serupa dengan penelitian sebelumnya, studi kasusnya berbeda. Berikut adalah beberapa jurnal penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian penulis.

1. Penelitian oleh Wiku Ananda Sugianto (2022) berjudul "Pemanfaatan Fly ash Dan Kapur Alam Sebagai Bahan Pengganti Semen Terhadap Karakteristik Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete (Clc)" bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan fly ash dan kapur alam terhadap karakteristik bata ringan. Penelitian ini menggunakan persentase fly ash sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40%, serta kapur alam sebesar 5% untuk setiap variasi dengan total 35 sampel uji berukuran 60 x 20 x 10 cm. Sebanyak 5 sampel bata ringan diuji tekan, sedangkan satu sampel lainnya digunakan untuk uji densitas dan penyerapan air sesuai SNI 8640:2018. Hasilnya menunjukkan kuat tekan maksimum sebesar 2,02 MPa pada persentase fly ash 10% dan kapur alam 5%. Uji densitas menunjukkan nilai terbesar 889,608 kg/m³ dan yang terendah 575,326 kg/m³ dari variasi 1 ke variasi 5, sementara uji penyerapan air berkisar antara 16,86% hingga 40,38%. Campuran optimum bata ringan diperoleh pada persentase fly ash 10% dan kapur alam 5%.
2. Dikky Hilman Maulana, et.al (2023) melakukan penelitian berjudul "Pengaruh Fly ash Terhadap Densitas dan Kuat Tekan Bata Ringan". Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh penambahan fly ash sebagai pengganti sebagian semen terhadap densitas dan kuat tekan bata ringan. Variasi persentase

fly ash yang digunakan adalah 15%, 25%, dan 35%. Penelitian ini melibatkan enam sampel berbentuk balok, dengan tiga replikasi untuk setiap sampelnya, menggunakan cetakan berukuran 100 mm x 50 mm x 50 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas terbaik diperoleh pada penggunaan 25% fly ash, yaitu sebesar 1482,4 kg/m³, dengan kuat tekan tertinggi mencapai 17,7 MPa. Penggunaan fly ash 25% menghasilkan bata ringan dengan kuat tekan maksimum. Kesimpulannya, penambahan fly ash sebanyak 15%, 25%, dan 35% mempengaruhi densitas bata ringan, namun kuat tekan tidak dipengaruhi oleh jumlah fly ash.

3. Mufti Amir Sultan, et.al (2021) melakukan penelitian berjudul "Efek Penambahan Fly ash Terhadap Kuat Tekan Mortar Semen". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak penambahan fly ash dalam campuran mortar. Fly ash dicampurkan pada mortar dengan komposisi berdasarkan berat semen sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Mortar tanpa fly ash digunakan sebagai kontrol. Ukuran benda uji adalah 5 x 5 x 5 cm dengan jumlah total 150 buah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan optimum terjadi pada variasi fly ash 20%, sebesar 29 MPa, atau peningkatan kuat tekan mortar fly ash dibandingkan mortar normal sebesar 18,85%.
4. Penelitian yang dilakukan oleh Reka Putri Maharani, et.al (2022) berjudul "Pengaruh Variasi Penambahan Fly ash Batu Bara Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan Bata Ringan" bertujuan untuk mengetahui karakteristik fly ash batu bara sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran bata ringan, serta membandingkan nilai kuat tekan bata ringan tanpa

fly ash dengan yang menggunakan fly ash batu bara. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian dengan menambahkan variasi fly ash sebagai pengganti sebagian semen dengan proporsi 5%, 7,5%, dan 10%. Nilai kuat tekan bata ringan untuk variasi 0% adalah 1,2548 MPa, variasi 5% adalah 1,3886 MPa, variasi 7,5% adalah 1,8814 MPa, dan variasi 10% adalah 2,0526 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fly ash batu bara dalam berbagai variasi sebagai pengganti sebagian semen meningkatkan kuat tekan bata ringan. Semakin besar persentase fly ash batu bara yang ditambahkan, semakin tinggi nilai kuat tekan bata ringan yang diperoleh.

5. Penelitian oleh Rini Rahmayanti, et.al (2023) yang berjudul "Pemanfaatan dan Pengaruh Fly ash Batu Bara Sebagai Substitusi Sebagian Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan Bata Ringan Jenis Cellular Lightweight Concrete (CLC)" bertujuan untuk mengetahui manfaat dan pengaruh fly ash batu bara sebagai pengganti sebagian semen terhadap nilai kuat tekan bata ringan jenis CLC. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi persentase fly ash batu bara sebesar 0%, 20%, 30%, 40%, dan 50% terhadap berat semen. Uji kuat tekan bata ringan dilakukan setelah 28 hari perawatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan maksimum sebesar 8,539 MPa diperoleh dengan variasi fly ash 30%, sedangkan nilai kuat tekan minimum sebesar 5,351 MPa diperoleh dengan variasi fly ash 50%. Kesimpulannya, persentase optimum fly ash batu bara untuk meningkatkan nilai kuat tekan maksimum bata ringan jenis CLC adalah 30%.

BAB III

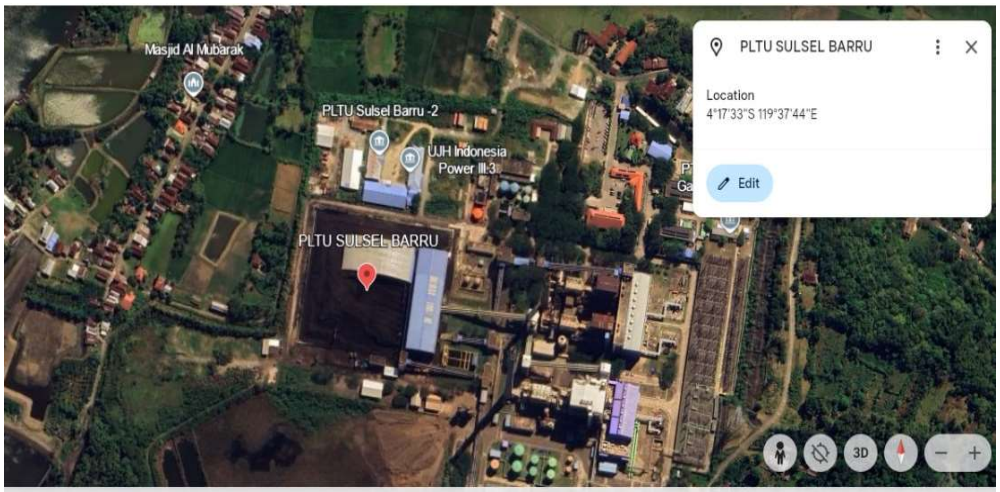
METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen kuantitatif dengan untuk menentukan komposisi terbaik dari campuran bata ringan yang menggunakan *fly ash*.

B. Lokasi Dan Waktu

Penelitian ini terdiri dari beberapa rangkaian kegiatan mulai dari pelaksanaan persiapan benda uji, perhitungan, pembuatan, pemeliharaan,serta pengujian yang secara keseluruhan dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muhammadiyah Parepare, Jl. Jend. Ahmad Yani Km.6, Bukit Harapan, Kec.Soreang, Kota Parepare. Berikut gambar lokasi untuk pengambilan material flay ash:



Gambar 3.1 Lokasi material flay ash
(Sumber : google earth tahun 2024)

Tabel 3. 1 Jadwal pelaksanaan benda uji

No	Jenis kegiatan	Tahun 2024 - 2025		
		Desember	Januari	Februari
1.	Studi literatur			
2.	Persiapan laboratorium			
3.	Pengujian bahan dasar			
4.	Pembuatan sampel bata ringan			
5.	Perawatan sampel bata ringan			
6.	Pengujian kuat tekan & daya serap air			

C. Alat dan bahan

1. Alat

Alat yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

a. Satu set saringan untuk mengukur gradasi agregat dan memperoleh nilai modulus agregat halus.

b. Timbangan digital dengan kapasitas maksimum 30 kg dan 5 kg untuk menimbang bahan campuran bata ringan serta bata ringan sebelum pengujian.

c. Oven untuk mengeringkan bahan uji saat pengujian material yang memerlukan kondisi kering.

d. Piknometer untuk mengukur berat jenis agregat halus. e.

e. Cetakan bata ringan berbentuk kubus dengan ukuran 10x10x10 cm.

f. Bor modifikasi untuk mengaduk bahan campuran bata ringan.

g. Peralatan lain seperti ember, loyang, dan skop

2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan yang telah

disediakan di laboratorium struktur dan bahan Prodi Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare. Yang telah diuji kelayakannya sesuai dengan standar yang berlaku:

a. Agregat halus (pasir);
b. Semen portland
c. Limbah *fly ash*
d. Air; dan
e. *Foam Agent* maxx 102.

D. Rancangan Penelitian

Berdasarkan dengan rancangan penelitian,jumlah sampel benda uji yang digunakan tanpat diketahui.

1. Tahap – tahap penelitian

Berikut ini beberapa proses pembuatan sampel bahan uji bata ringan:

a. Tahap penimbangan bahan.

   Menimbang bahan utama seperti pasir, semen, dan bahan tambahan fly ash menggunakan timbangan digital.

b. Tahap pencetakan sampel.

   Langkah-langkah pada tahap pengadukan bahan dasar dan bahan campuran:

   1) Masukkan semen, pasir, dan abu terbang ke dalam ember, kemudian aduk menggunakan mixer dengan memasukkan air secara perlahan hingga tercampur secara merata.
   2) Campurkan *foam Agent Maxx* 102 (busa) ke dalam ember yang berisi campuran bahan tadi, aduk menggunakan mixer hingga merata.

3) Tuangkan campuran yang sudah rata ke dalam cetakan sampel sampai penuh.
4) Ratakan permukaannya.
5) Setelah didiamkan selama 3 hari, buka cetakan dan keringkan bata ringan secara alami selama sekitar 24 jam sebelum dilakukan pengujian terhadap sampel.

c. Tahap pengujian sampel bata ringan yang meliputi pengujian daya serap air dan kuat tekan.

E. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan langkah yang sangat penting dalam penelitian, karena tujuan utama penelitian adalah memperoleh data. Dengan menggunakan teknik pengumpulan data yang tepat, peneliti dapat mengumpulkan data yang memenuhi standar yang ditetapkan. Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis teknik pengumpulan data, yaitu data sekunder dan data primer.

1. Data sekunder

   Data sekunder merupakan data-data yang bersumber dari Lembaga atau peneliti sebelumnya. Merupakan data pendukung yang digunakan dalam prosers perlaksanaan kegiatan penelitian ini. Seperti data teknis SNI (Standar Nasional Indonersia), PBI (Peraturan Beton Indonesia), internet (website) serrta literatur sebagai penunjang dan referensi untuk memperkuat peneritian yang akan dilakurkan.

2. Data primer

   Yang dimaksud dengan data primer dalam penelitian ini adalah data yang

diperoleh melalui partisipasi aktif dari peneliti yang dikumpulkan melalui kegiatan pengamatan terhadap karakteristik agregat serta segala kegiatan, pengujian dan eksperimen secara langsung di laboratorium.

F. Teknik Analisis Data

Analisis data merupakan metode yang dilakukan dalam memproses data menjadi informasi, agar data tersebut mudah dipahami. Setelah mengumpulkan data dari pengujian densitas dan kuat tekan sampel bata ringan, langkah selanjutnya adalah pengolahan atau analisis data menggunakan Analysis of Variance (ANOVA).

G. Variasi dan Rancangan Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah kubus dan balok dengan variasi subtitusi berbeda. Untuk pengujian ini dibuat 4 variasi persentase subtitusi benda uji yang terdiri dari 0%, 5%, 10% dan 15% terhadap semen. Penamaan benda uji seperti pada table 3.2 berikut ini.

Tabel 3. 2 Rancangan Benda Uji

No	Variasi	Uji Penyerapan	Uji Kuat Tekan		Total
			7 Hari	28 Hari	
1	BR0%	3	10	10	23
2	BR 5% FA	3	10	10	23
3	BR 10% FA	3	10	10	23
4	BR 15% FA	3	10	10	23
Total					**92**

Keterangan :

BR0% : Bata ringan 0%

BR5%FA : Bata ringan 5% *fly ash*

BR10% FA : Bata ringan 10% *fly ash*

BR15% FA : Bata ringan 15% *fly ash*

H. Prosedur Pengujian Sampel Benda Uji

Berikut beberapa proses pengujian untuk mengetahui sifat fisik sampel benda uji bata ringan:

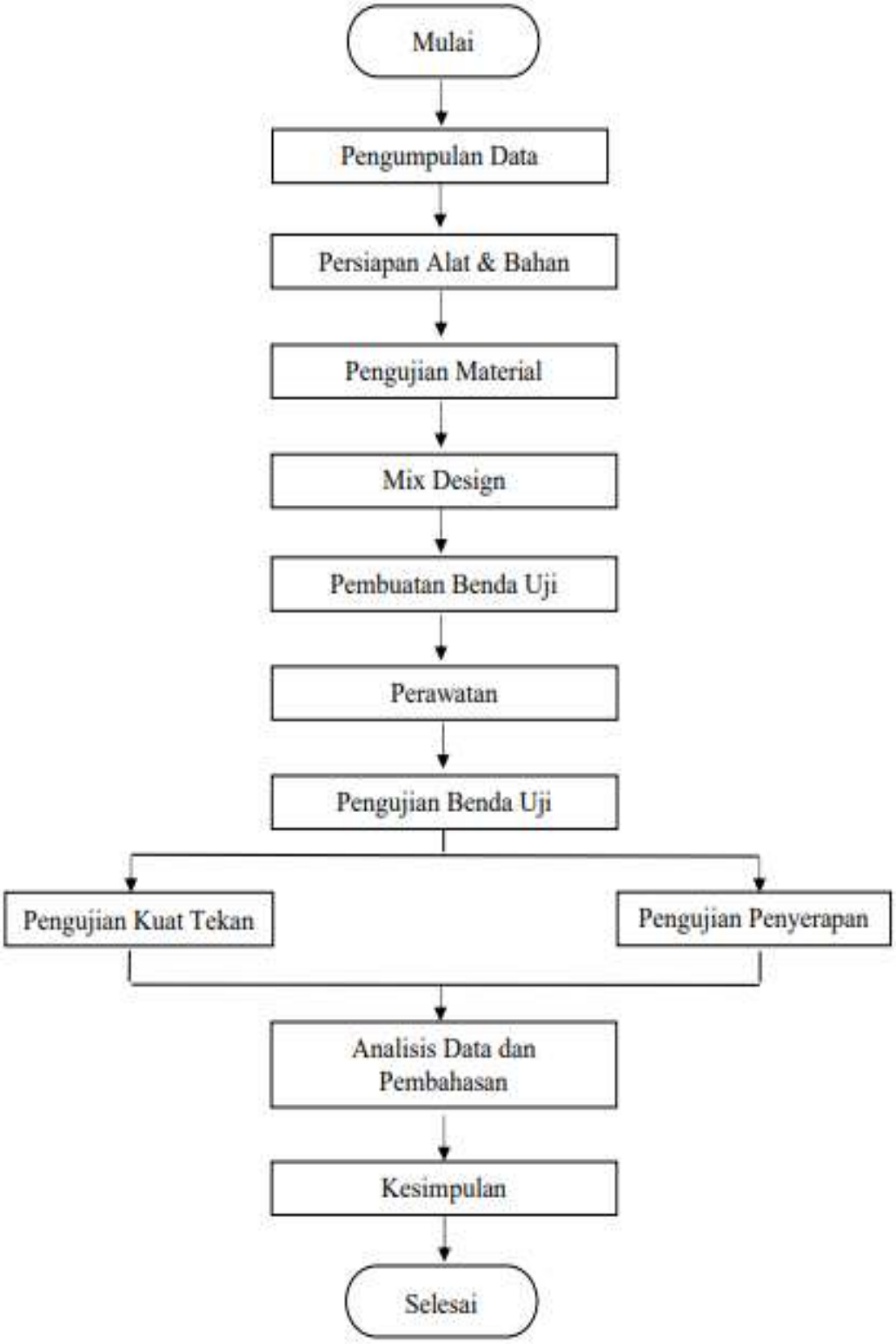
1. Kuat Tekan

Sebelum pengujian kuat tekan dimulai, timbang sampel beton yang akan diuji dan catat hasilnya. Setelah ditimbang, lakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji tekan (Compression Testing Machine). Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji silinder setelah umur beton mencapai 7 dan 28 hari. Mulailah dengan mengambil 4 benda uji beton dari satu komposisi pencampuran yang sama, lalu uji satu per satu dengan cara meletakkannya secara sentris pada mesin uji tekan dan jalankan mesin tersebut. Catat pembacaan pembebanan saat bata ringan hancur. Hasil kuat tekan benda uji dicatat saat jarum penunjuk kuat tekan mencapai nilai tertinggi. Ulangi langkah-langkah tersebut untuk berbagai komposisi pencampuran hingga selesai. Cara menghitung kuat tekan menggunakan persamaan 1.

2. Daya Serap Air

Pengukuran daya serap air dilakukan dengan menghitung persentase perbedaan antara massa basah dan massa kering. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak air yang terserap setelah perendaman selama 24 jam. Benda uji direndam satu hari sebelum mencapai umur 28 hari, kemudian pada umur tersebut, setelah perendaman dihitung menggunakan persamaan 2.

I. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Diagram alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dilakukan terhadap agregat halus, semen, dan air. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan komposisi masing-masing agregat sebagai bahan campuran sampel beton yang direncanakan dalam Mix Design.

Hasil rekapitulasi dari masing-masing agregat yang telah diuji, mulai dari agregat halus, semen dan faktor air ditunjukkan dalam tabel dibawah ini:

1. Agregat Halus

Tabel 4. 1 Rekap Pengujian Agregat Halus *(Sumber: hasil olah data)*

NO.	KARAKTERISTIK AGREGAT	INTERVAL	HASIL PENGAMATAN		NILAI RATA-RATA	KETERANGAN
			I	II		
1	Kadar lumpur	Maks 5%	5.7%	1.7%	3.73%	Memenuhi
2	Kadar organik	< No. 3	No. 1	No. 1	1	Memenuhi
3	Kadar air	2% - 5%	4.08%	4.71%	4.40%	Memenuhi
4	Berat volume					
	a. Kondisi lepas	1,4 - 1,9 kg/liter	1.42	1.45	1.44	Memenuhi
	b. Kondisi padat	1,4 - 1,9 kg/liter	1.49	1.55	1.52	Memenuhi
5	Absorpsi	0,2% - 2%	2%	0.95%	1.39%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik					
	a. Bj. nyata	1,6 - 3,3	2.28	2.71	2.49	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering	1,6 - 3,3	2.19	2.64	2.41	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan	1,6 - 3,3	2.23	2.66	2.44	Memenuhi
7	Modulus kehalusan	1,50 - 3,80	3.07	2.98	3.03	Memenuhi

Dari hasil pengujian agregat di atas didapatkan hasil sebagai beribut:

a. Kadar lumpur agregat

Kadar lumpur pada sampel pengujian pertama 5,7% dan sampel pengujian kedua 1,7%. Rata-rata kadar lumpur yang didapatkan 3,73%. Dengan interval maksimal 5% maka kondisi kadar lumpur agregat halus memenuhi untuk dapat digunakan.

b. Kadar organik agregat

Hasil pengujian kadar organik agregat halus menunjukkan warna kekeruhan pada angka No.1 pada standar warna. Hal ini menunjukkan bahwa material agregat halus memiliki kadar organik yang rendah dan memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam campuran bata ringan tanpa perlu dicuci terlebih dahulu.

c. Kadar air agregat

Kadar air pada sampel pengujian pertama 4,08% dan sampel pengujian kedua 4,71%. Rata-rata kadar air 4,40%. Dengan interval 2%-5% maka kondisi kadar air agregat halus memenuhi untuk dapat digunakan.

d. Berat volume agregat

Berat volume terbagi menjadi kondisi lepas dan kondisi padat dengan interval 1,4 – 1,9. Pada kondisi lepas berat sampel pertama 1,42 dan berat sampel kedua 1,45 dengan rata-rata 1,44. Pada kondisi padat berat sampel pertama 1,49 dan berat sampel kedua 1,55 dengan rata-rata 1,52. Berdasarkan data yang ada, berat volume kondisi basah maupun kering agregat memenuhi persyaratan untuk digunakan.

e. Absorpsi agregat

Dari hasil penelitian ditemukan bahwa rata-rata nilai absorbsi 1,39%. Standar interval nilai absorbsi adalah 0,2 – 2% maka dinyatakan memenuhi standar untuk digunakan.

f. Berat jenis agregat

Berat jenis terbagi menjadi tiga yaitu berat nyata, berat dasar kering dan berat jenis kering permukaan dengan interval 1,6 – 3,3. Rata-rata berat jenis nyata 2,49, rata-rata berat jenis dasar kering 2,41 dan rata-rata berat jenis kering permukaan 2,44. Berdasarkan data hasil penelitian maka disimpulkan material memenuhi persyaratan untuk digunakan.

g. Modulus kehalusan agregat

Interval modulus kehalusan 6,0 – 8,0. Nilai modulus kehalusan sampel pertama 3,07 dan nilai modulus kehalusan kedua 2,98 dengan rata-rata 3,03. Dari data penelitian disimpulkan bahwa agregat memenuhi persyaratan untuk digunakan.

B. Perencanaan Campuran Bata Ringan (Mix Design)

Perencaan campuran dan komposisi adukan bata ringan di hitung dengan menggunakan Mix Design SNI 8640:2018 dengan data dan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Data Hasil Mix Design *(Sumber: hasil olah data)*

Parameter Input	
Densitas	700 kg/m³
Target Kuat Tekan	5 Mpa
Volume Benda Uji	0.001 m³
Rasio Semen : Pasir	1 : 2
Faktor Air Semen	0.45
Karakteristik Material	

BJ. Semen	3.15	gr/m³
BJ. Agregat Halus	2.66	gr/m³
BJ. Air	1	gr/m³
BJ. Foam Agent	1	gr/m³
BJ. Fly Ash	3.1	gr/m³

1. Perhitungan Campuran Dasar

   Total Binder = 600 kg/m³

   Semen = $\frac{1}{(1+2)}$ x 600 kg/m³ = 200 kg/m³

   Pasir = $\frac{2}{(1+2)}$ x 600 kg/m³ = 400 kg/m³

   Air = 200 x 0.45 kg/m³ = 90.0 liter/m³

2. Perhitungan Volume Campuran

   Semen = $\frac{\text{semen}}{\text{Bj.semen}}$ = $\frac{200}{3.15}$: 1000 kg/m³ = 0.06 m³

   Pasir = $\frac{\text{pasir}}{\text{Bj.pasir}}$ = $\frac{400}{2.66}$: 1000 kg/m³ = 0.15 m³

   Air = $\frac{\text{Air}}{1000}$ = $\frac{90.0}{1000}$ liter/m³ = 0.09 m³

3. Total Binder

   Total = semen + pasir + air

   = 0.06 + 0.15 + 0.09

   = 0.30 m³

4. Kebutuhan Foam Agent Max 102

   Kebutuhan = 1 + Total binder

   = 1 + 0.30

   = 0.70 m³

5. Perhitungan Foam Agent Max 102

Kebutuhan Larutan Foam = $\frac{\text{V.foam}}{25}$ = $\frac{0.70}{25}$ x 1000 =27.85 liter

Foam Agent Murni = $\frac{\text{Foam}}{41}$ = $\frac{27.85}{41}$ = 0.68 liter

Air Foam = 27.85 - 0.68 = 27.2 liter

6. Hasil Akhir Kebutuhan Material

Semen = 200 x 0.001 m^3 = 0.200 kg

Pasir = 400 x 0.001 m^3 = 0.400 kg

Air Untuk Pasta = 90 x 0.001 m^3 = 0.09 liter

Foam Agent = 0.679 x 0.001 m^3 = 0.001 liter

Air untuk Foam = 27.166 x 0.001 m^3 = 0.027 liter

a) Kebutuhan Campuran Bahan Bata Ringan Normal

Tabel 4. 3 Kebutuhan Campuran Bahan untuk 10 Kubus *(Sumber: hasil olah data)*

Bahan	Kebutuhan 1 Benda Uji	Kebutuhan Total Benda Uji
Semen	0.20 kg	2.00 kg
Pasir	0.40 kg	4.00 kg
Air untuk pasta	0.09 liter	0.90 liter
Foam agent	0.001 liter	0.007 liter
Air untuk foam	0.027 liter	0.272 liter

b) Untuk Variasi 5% Limbah Fly Ash

Pada penelitian ini digunakan Limbah Fly Ash sebagai subtitusi 5% terhadap semen.

Limbah Fly Ash = 5% × V.semen x Bj.fly ash x 1000

= 5% × 0.06 x 3.10 x 1000

= 9.84 kg

Semen = 95% × V.semen x Bj.semen x 1000

= 95% × 0.06 x 3.15 x 1000

= 190.00 kg

Tabel 4. 4 Kebutuhan Campuran Bahan Variasi 5% untuk 10 Kubus *(Sumber: hasil olah data)*

Bahan	Kebutuhan 1 Benda Uji	Kebutuhan Total Benda Uji
Semen	0.19 kg	1.90 kg
Fly ash	0.01 kg	0.10 kg
Pasir	0.40 kg	4.00 kg
Air untuk pasta	0.09 liter	0.90 liter
Foam agent	0.001 liter	0.007 liter
Air untuk foam	0.027 liter	0.272 liter

c) Untuk Variasi 10% Limbah Fly Ash

Pada penelitian ini digunakan Limbah Fly Ash sebagai subtitusi 10% terhadap semen.

Limbah Fly Ash = 10% × V.semen x Bj.fly ash x 1000

= 10% × 0.06 x 3.10 x 1000

= 19.68 kg

Semen = 90% × V.semen x Bj.semen x 1000

= 90% × 0.06 x 3.15 x 1000

= 180.00 kg

Tabel 4. 5 Kebutuhan Campuran Bahan Variasi 10% untuk 10 Kubus *(Sumber: hasil olah data)*

Bahan	Kebutuhan 1 Benda Uji	Kebutuhan Total Benda Uji
Semen	0.18 kg	1.80 kg
Fly ash	0.02 kg	0.20 kg
Pasir	0.40 kg	4.00 kg
Air untuk pasta	0.09 liter	0.90 liter

Foam agent	0.001 liter	0.007 liter
Air untuk foam	0.027 liter	0.272 liter

d) Untuk Variasi 15% Limbah Fly Ash

Pada penelitian ini digunakan Limbah Fly Ash sebagai subtitusi 15% terhadap semen.

Limbah Fly Ash = 15% × V.semen x Bj.fly ash x 1000

= 15% × 0.06 x 3.10 x 1000

= 29.52 kg

Semen = 85% × V.semen x Bj.semen x 1000

= 85% × 0.06 x 3.15 x 1000

= 170.00 kg

Tabel 4. 6 Kebutuhan Campuran Bahan Variasi 15% untuk 10 Kubus *(Sumber: hasil olah data)*

Bahan	Kebutuhan 1 Benda Uji	Kebutuhan Total Benda Uji
Semen	0.17 kg	1.70 kg
Fly ash	0.03 kg	0.30 kg
Pasir	0.40 kg	4.00 kg
Air untuk pasta	0.09 liter	0.90 liter
Foam agent	0.001 liter	0.007 liter
Air untuk foam	0.027 liter	0.272 liter

C. Kuat Tekan

Gambar 4. 1 Pengujian Kuat Tekan *(Sumber: Data pengujian beton di Laboratorium)*

Setelah menyelesaikan proses pembuatan dan perawatan benda uji, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian kuat tekan. Pengujian ini dilakukan pada usia 7 hari dan 28 hari dengan total 24 sampel, yang terbagi ke dalam empat variasi campuran, yaitu BR0%, BR5%, BR10%, dan BR15%. Setiap variasi campuran memiliki tiga sampel berbentuk kubus dengan dimensi 10 cm × 10 cm × 10 cm. Sebelum melakukan uji kuat tekan bata ringan, terlebih dahulu dilakukan penimbangan sampel kubus uji untuk setiap variasi sampel. Adapun perubahan berat pada setiap benda uji dapat dilihat pada tabel berikut:

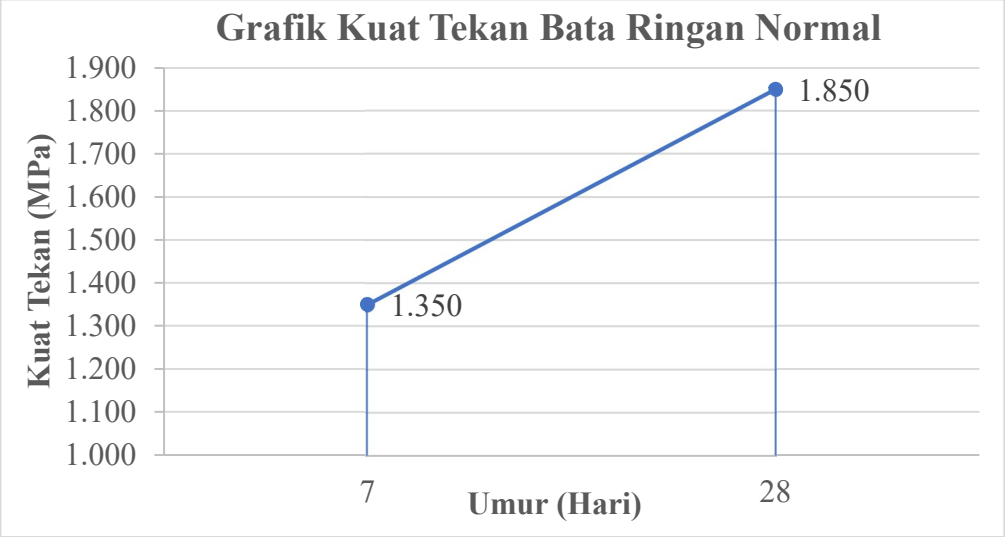
1. Bata Ringan Normal

Berikut adalah hasil kuat tekan rata-rata pada bata ringan normal yang diperoleh dari pengujian selama 7 hari dan 28 hari:

Tabel 4. 7 Rekap Hasil Kuat Tekan Bata Ringan Untuk Bata Ringan Normal *(Sumber: hasil olah data)*

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c Mpa	Rata-rata
1	7	1.158	10	1.000	1.350
2	7	1.116	15	1.500	
3	7	1.097	15	1.500	
4	7	1.037	15	1.500	
5	7	1.122	10	1.000	
6	7	1.023	10	1.000	
7	7	1.159	15	1.500	
8	7	1.185	15	1.500	
9	7	1.071	15	1.500	
10	7	1.156	15	1.500	
11	28	1.105	20	2.000	1.850
12	28	1.082	20	2.000	
13	28	1.107	20	2.000	
14	28	1.143	15	1.500	
15	28	1.091	15	1.500	
16	28	1.186	15	1.500	
17	28	1.153	20	2.000	
18	28	1.136	20	2.000	
19	28	1.144	20	2.000	
20	28	1.127	20	2.000	

Berdasarkan pengujian sampel uji bata ringan normal dengan ukuran kubus 10 cm x 10 cm x 10 cm dan jumlah sampel sebanyak 20 buah, hasil kuat tekan yang diperoleh pada umur 7 hari memiliki rata-rata sebesar 1,350 MPa, sedangkan pada umur 28 hari memiliki rata-rata sebesar 1,850 MPa. Hasil ini memenuhi kuat tekan yang direncanakan, sesuai dengan grafik yang ditunjukkan berikut ini:



Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan Normal *(Sumber: Data pengujian beton di Laboratorium)*

Berdasarkan grafik tersebut, bata ringan normal menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 0,5 MPa yaitu sekitar 38,46% dari usia 7 hari ke usia 28 hari.

2. Bata Ringan 5%

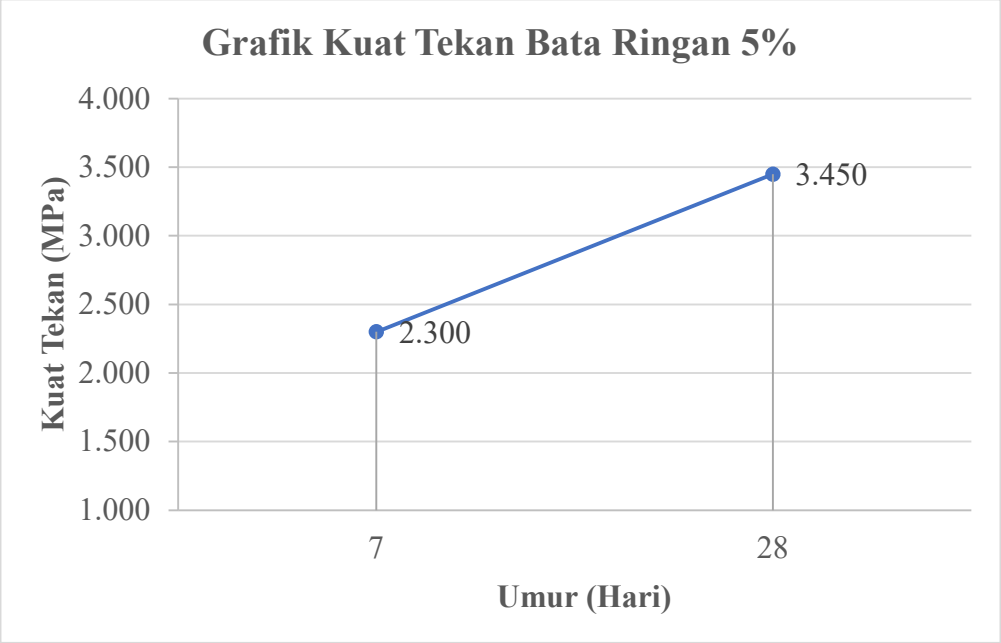
Berikut adalah hasil kuat tekan rata-rata pada bata ringan ringan 5% terhadap semen yang diperoleh dari pengujian selama 7 hari dan 28 hari:

Tabel 4. 8 Rekap Hasil Kuat Tekan Bata Ringan Untuk Variasi 5% *(Sumber: hasil olah data)*

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c Mpa	Rata-rata
1	7	1.063	30	3.000	2.300
2	7	1.092	20	2.000	
3	7	1.116	20	2.000	
4	7	1.125	20	2.000	
5	7	1.09	20	2.000	
6	7	1.095	30	3.000	
7	7	1.161	20	2.000	
8	7	1.2	20	2.000	
9	7	1.182	20	2.000	
10	7	1.097	30	3.000	
11	28	1.075	30	3.000	3.450
12	28	1.108	45	4.500	
13	28	1.112	30	3.000	

14	28	1.089	30	3.000	
15	28	1.1	30	3.000	
16	28	1.147	45	4.500	
17	28	1.142	30	3.000	
18	28	1.083	30	3.000	
19	28	1.089	30	4.500	
20	28	1.1	30	3.000	

Berdasarkan pengujian sampel uji bata ringan normal dengan ukuran kubus 10 cm x 10 cm x 10 cm dan jumlah sampel sebanyak 20 buah, hasil kuat tekan yang diperoleh pada umur 7 hari memiliki rata-rata sebesar 2,300 MPa, sedangkan pada umur 28 hari memiliki rata-rata sebesar 3,450 MPa. Hasil ini memenuhi kuat tekan yang direncanakan, sesuai dengan grafik yang ditunjukkan berikut ini:



Gambar 4. 3 Grafik Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan Variasi 5% *(Sumber: Data pengujian beton di Laboratorium)*

Berdasarkan grafik tersebut, bata ringan 5% terhadap semen menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 1,15 MPa yaitu sekitar 50% dari usia 7 hari ke usia 28 hari.

3. Bata Ringan 10%

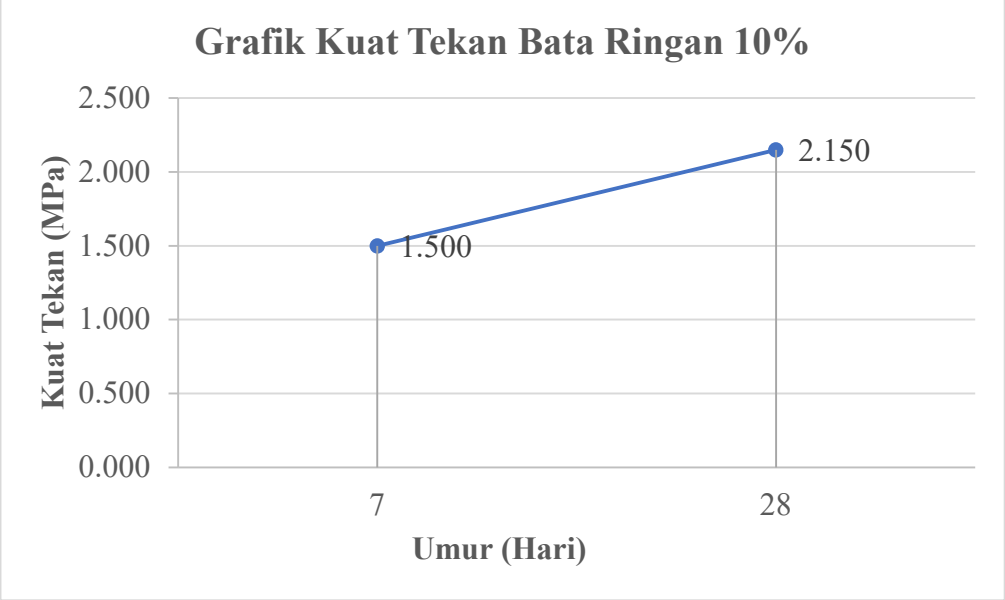
Berikut adalah hasil kuat tekan rata-rata pada bata ringan ringan 10% terhadap semen yang diperoleh dari pengujian selama 7 hari dan 28 hari:

Tabel 4. 9 Rekap Hasil Kuat Tekan Bata Ringan Untuk Variasi 10% *(Sumber: hasil olah data)*

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c Mpa	Rata-rata
1	7	1.135	10	1.000	1.500
2	7	1.133	15	1.500	
3	7	1.218	20	2.000	
4	7	1.179	15	1.500	
5	7	1.098	10	1.000	
6	7	1.071	15	1.500	
7	7	1.181	15	1.500	
8	7	1.145	20	2.000	
9	7	1.185	20	2.000	
10	7	1.139	10	1.000	
11	28	1.21	20	2.000	2.150
12	28	1.125	30	3.000	
13	28	1.122	15	1.500	
14	28	1.227	20	2.000	
15	28	1.138	15	1.500	
16	28	1.146	30	3.000	
17	28	1.166	30	3.000	
18	28	1.185	20	2.000	
19	28	1.074	20	2.000	
20	28	1.156	15	1.500	

Berdasarkan pengujian sampel uji bata ringan 10% terhadap semen dengan ukuran kubus 10 cm x 10 cm x 10 cm dan jumlah sampel sebanyak 20 buah, hasil kuat tekan yang diperoleh pada umur 7 hari memiliki rata-rata sebesar 1,500 MPa, sedangkan pada umur 28 hari memiliki rata-rata sebesar 2,150 MPa.

Hasil ini memenuhi kuat tekan yang direncanakan, sesuai dengan grafik yang ditunjukkan berikut ini:



Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan Variasi 10%
(Sumber: Data pengujian beton di Laboratorium)

Berdasarkan grafik tersebut, bata ringan 10% terhadap semen menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 0,65 MPa yaitu sekitar 43,33% dari usia 7 hari ke usia 28 hari.

4. Bata Ringan 15%

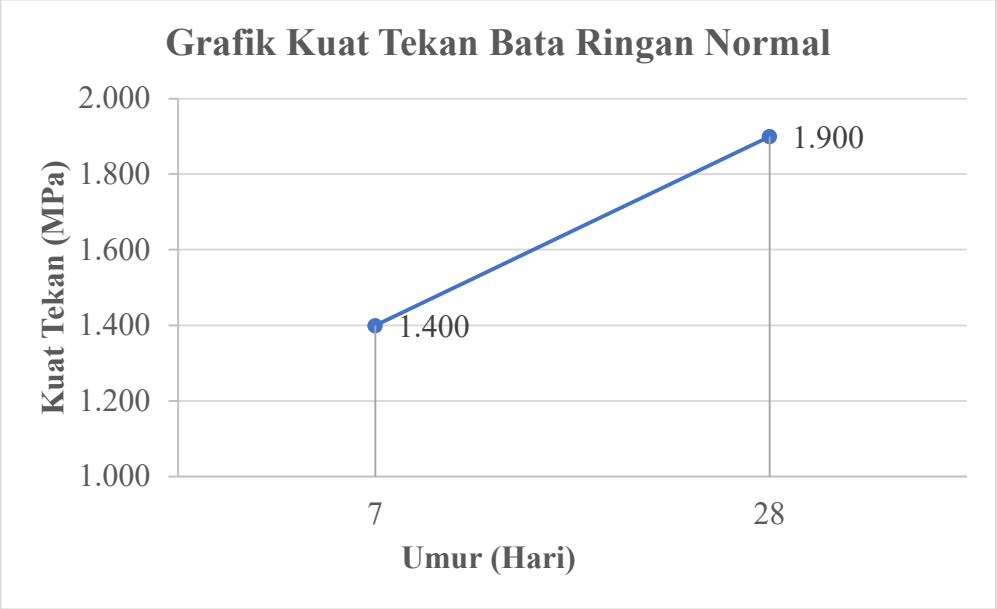
Berikut adalah hasil kuat tekan rata-rata pada bata ringan ringan 15% terhadap semen yang diperoleh dari pengujian selama 7 hari dan 28 hari:

Tabel 4. 10 Rekap Hasil Kuat Tekan Bata Ringan Untuk Variasi 15% *(Sumber: hasil olah data)*

No.	Umur	Berat (Kg)	Beban (KN)	Kuat Tekan f'c Mpa	Rata-rata
1	7	1.106	15	1.500	
2	7	1.096	15	1.500	
3	7	1.067	10	1.000	1.400
4	7	1.122	15	1.500	
5	7	1.049	10	1.000	
6	7	1.124	15	1.500	

7	7	1.133	15	1.500	
8	7	1.063	15	1.500	
9	7	1.129	15	1.500	
10	7	1.083	15	1.500	
11	28	1.087	20	2.000	1.900
12	28	1.098	20	2.000	
13	28	1.079	20	2.000	
14	28	1.115	20	2.000	
15	28	1.109	15	1.500	
16	28	1.088	15	1.500	
17	28	1.139	20	2.000	
18	28	1.119	20	2.000	
19	28	1.125	20	2.000	
20	28	1.104	20	2.000	

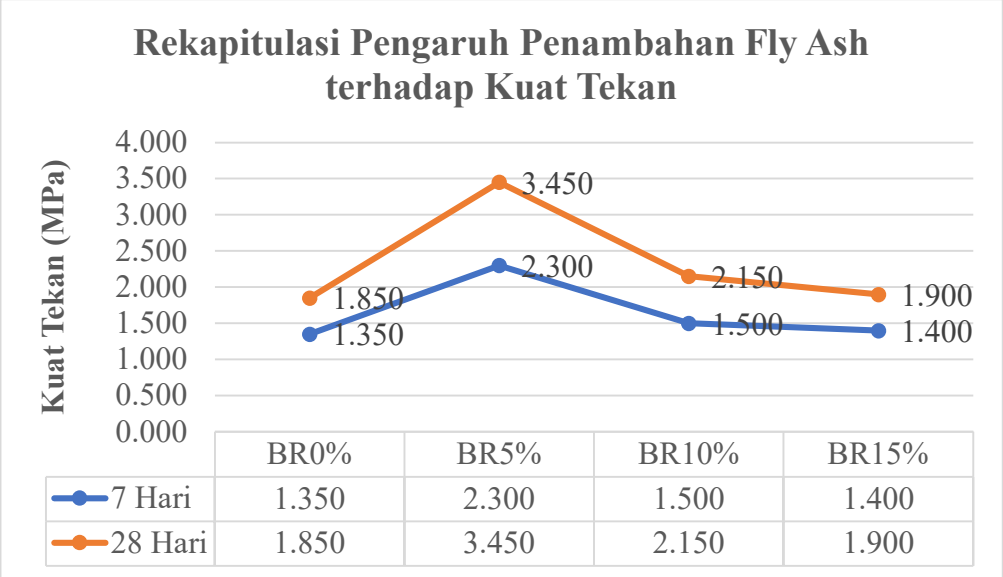
Berdasarkan pengujian sampel uji bata ringan 15% terhadap semen dengan ukuran kubus 10 cm x 10 cm x 10 cm dan jumlah sampel sebanyak 20 buah, hasil kuat tekan yang diperoleh pada umur 7 hari memiliki rata-rata sebesar 1,400 MPa, sedangkan pada umur 28 hari memiliki rata-rata sebesar 1,900 MPa. Hasil ini memenuhi kuat tekan yang direncanakan, sesuai dengan grafik yang ditunjukkan berikut ini:



Gambar 4. 5 Grafik Pengujian Kuat Tekan Bata Ringan Variasi 15%
(Sumber: Data pengujian beton di Laboratorium)

Berdasarkan grafik tersebut, bata ringan 15% terhadap semen menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 0,5 MPa yaitu sekitar 38,46% dari usia 7 hari ke usia 28 hari.

Berikut adalah grafik yang merangkum pengaruh penambahan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan bata ringan:



Gambar 4. 6 Grafik Rekap Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan *(Sumber: Data pengujian beton di Laboratorium)*

Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa dari keempat variasi benda uji, yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15%, variasi benda uji 5% menghasilkan kuat tekan rata-rata terbesar. Grafik menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata bata ringan kubus pada umur 7 dan 28 hari lebih rendah dibandingkan dengan 0% yang tidak diberi bahan tambahan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh signifikan penambahan *fly ash* terhadap peningkatan nilai kuat tekan pada bata ringan, karena *fly ash* mengandung silica dalam jumlah yang cukup besar yang dapat menambah kuat tekan bata ringan.

Nilai kuat tekan rata-rata untuk bata ringan normal pada umur 7 hari adalah 1,350 MPa, sementara pada umur 28 hari adalah 1,850 MPa. Bata ringan dengan campuran *fly ash* variasi 5% memiliki kuat tekan rata-rata 2,300 MPa pada umur 7 hari dan 3,450 MPa pada umur 28 hari. Bata ringan dengan variasi *fly ash* 10% menunjukkan kuat tekan rata-rata sebesar 1,500 MPa pada umur 7 hari dan 2,150 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan, bata ringan dengan variasi *fly ash* 15% memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 1,400 MPa pada umur 7 hari dan 1,900 MPa pada umur 28 hari.

D. Daya Serap Air

Gambar 4. 7 Pengujian Daya Serap Air Bata Ringan *(Sumber: Data pengujian beton di Laboratorium)*

Setelah proses pembuatan dan perawatan selesai, langkah selanjutnya adalah pengujian daya serap air pada benda uji. Pengujian ini dilakukan pada usia 28 hari menggunakan sampel kubus berukuran 10 cm × 10 cm × 10 cm, dengan 12 sampel yang terdiri dari variasi 0%, 5%, 10%, dan 15%. Setelah direndam selama 28 hari, setiap benda uji ditimbang dalam kondisi basah, kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam dan ditimbang kembali dalam kondisi kering. Hasil pengujian daya serap air adalah sebagai berikut:

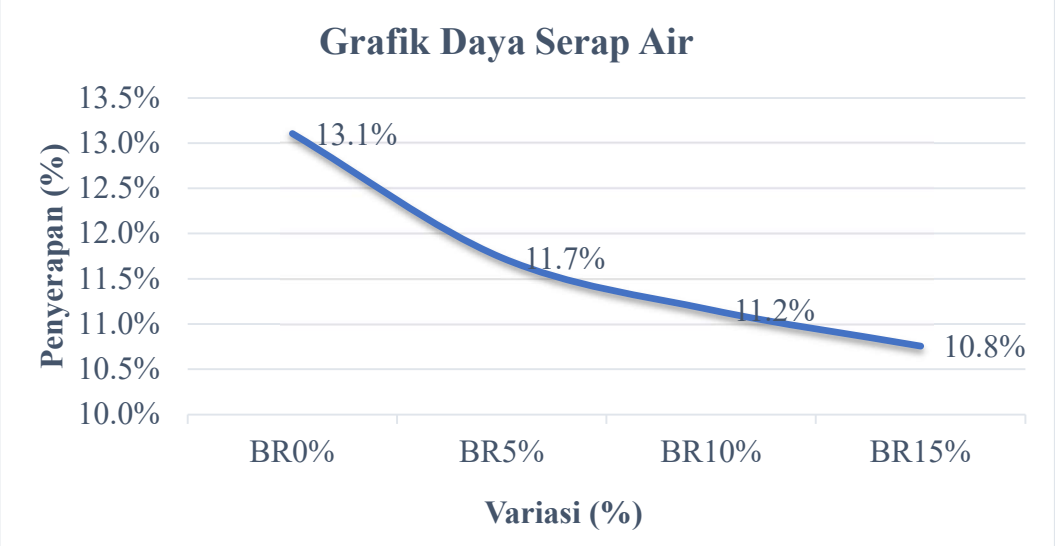
Tabel 4. 11 Rekap Hasil Daya Serap Air Bata Ringan *(Sumber: hasil olah data)*

No.	Variasi BR	Umur Hari	Berat Basah (gr)	Berat Kering (gr)	Daya Serap (%)	Rata-rata (%)
1	0%	28	1.346	1.158	14.0%	13.1%
2	0%	28	1.306	1.116	14.5%	
3	0%	28	1.230	1.097	10.8%	
4	5%	28	1.201	1.063	11.5%	11.7%
5	5%	28	1.243	1.092	12.1%	
6	5%	28	1.262	1.116	11.6%	
7	10%	28	1.282	1.135	11.5%	11.2%
8	10%	28	1.259	1.133	10.0%	
9	10%	28	1.384	1.218	12.0%	
10	15%	28	1.241	1.106	10.9%	10.8%
11	15%	28	1.219	1.096	10.1%	
12	15%	28	1.203	1.067	11.3%	
Rata-rata			1.265	1.116	11.7%	11.7%

Dari keempat variasi benda uji, yaitu: 0%, 5%, 10%, 15% daya serapan air rata-rata terbesar dihasilkan oleh benda uji 0%. Berdasarkan tabel hasil daya serapan air bata ringan kubus umur 28 hari rata-rata kuat tekan lebih rendah dari 15%. Hal ini terjadi karena semakin bertambahnya persentase *fly ash* maka daya serapan airnya menurun.

Nilai daya serapan air rata-rata untuk bata ringan normal umur 28 hari adalah 13,1 %, bata ringan dengan campuran variasi 5% umur 28 hari adalah 11,7%,

bata ringan variasi 10% umur 28 hari adalah 11,2% dan bata ringan variasi 15% umur 28 hari adalah 10,8%.



Gambar 4. 8 Grafik Pengujian Daya Serap Air Bata Ringan *(Sumber: Data pengujian beton di Laboratorium)*

Dari grafik di atas dapat dilihat kenaikan daya serapan air bata ringan berumur 28 hari pada bata ringan normal dengan besaran persentase 13,1% dan terjadi penurunan pada variasi 15% dengan besaran persentase 10,8%. Hal ini terjadi karena semakin banyak penambahan *fly ash* membuat daya serapan airnya menurun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai produksi bata ringan menggunakan limbah *fly ash* sebagai substitusi semen, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan persentase *fly ash* hingga batas tertentu dapat meningkatkan kuat tekan bata ringan. Pada kadar *fly ash* yang optimal, kuat tekan bata lebih tinggi dibandingkan dengan sampel tanpa *fly ash.*
2. Pengujian daya serap air menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase *fly ash*, daya serap air bata ringan cenderung menurun, sehingga lebih tahan terhadap kelembapan. Ini membuktikan bahwa *fly ash* dapat meningkatkan ketahanan air bata ringan.
3. Dari hasil analisis, ditemukan bahwa variasi campuran dengan persentase *fly ash* tertentu memberikan performa terbaik dalam hal kuat tekan dan daya serap air.
4. Penggunaan *fly ash* sebagai bahan tambahan dalam produksi bata ringan membuktikan bahwa limbah industri ini dapat diolah menjadi material konstruksi yang lebih ramah lingkungan. Dengan pemanfaatan yang tepat, *fly ash* dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan baku konvensional serta mendukung konsep pembangunan berkelanjutan.

B. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan variasi persentase fly ash yang lebih luas untuk mengetahui batas optimal penggunaannya sebagai substitusi semen dalam bata ringan.
2. Perlu dilakukan pengujian tambahan, seperti uji ketahanan terhadap cuaca ekstrem dan analisis mikrostruktur untuk memahami lebih lanjut pengaruh fly ash terhadap komposisi bata ringan serta karakteristiknya dalam jangka panjang.
3. Penggunaan fly ash dalam penelitian ini masih memerlukan pengujian lebih lanjut, karena sumber limbah yang digunakan belum memberikan hasil yang optimal. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dengan menggunakan fly ash dari sumber lain yang lebih sesuai. Selain itu, perlakuan tambahan terhadap material diperlukan agar kualitas dinding yang dihasilkan lebih optimal dan layak digunakan secara maksimal

DAFTAR PUSTAKA

Al adawiyah, novia, et al. "analisis kuat tekan dan daya serap air pada batu bata ringan yang terbuat dari *fly ash* dan abu pengergajian batu andesit." *wahana teknik sipil: jurnal pengembangan teknik sipil* 21.01 (2016).

Ayub, M. & Pratama, M. (2018). *Pemanfaatan tanah liat sebagai bahan baku bata merah dan pengaruhnya terhadap kelestarian lingkungan*. Jurnal Teknik Sipil, 14(2), 72-80.

Bella, rosmiyati a., jusuf js pah, and ariansyah g. Ratu. "perbandingan persentase penambahan flyash terhadap kuat tekan bata ringan jenis clc." *jurnal teknik sipil* 6.2 (2017): 199-204.

Buchanan, S., & Thomas, M. (2009).

Dikky hilman, maulana. *Pengaruh penambahan fly ash terhadap densitas bata ringan*. Diss. Politeknik manufaktur negeri bangka belitung, 2023.

Ekaputri, J. J., & Bari, M. S. Al. (2020). Perbandingan Regulasi *Fly ash* sebagai Limbah B3 di Indonesia dan Beberapa Negara. Media Komunikasi Teknik Sipil, 26(2), 150–162.

Ensiklopedia Teknologi Kimia Kirk-Othmer . "Surfaktan." John Wiley & Sons, Inc.

Enterprise Specialty Products, Inc**.** (2024). "Kontrol Busa dan Aditif untuk Koefisien

Guspita, a., & haryanto, b. (2022). *Evaluasi karakteristik bata ringan menggunakan fly ash dan foam Agent dalam campuran beton*. Jurnal teknik sipil, 8(3).

Hadi, S. (2000). “Pengaruh Ukuran Butir dan Komposisi Abu Terbang PLTU sebagai Pengisi dan Pozolan.” Surabaya.

Hasyim, R. C. (2017). "Penggunaan *Fly ash* pada Beton: Sifat dan Karakteristik." Jurnal Teknik Sipil, vol. 5, no. 2.

Helmawati. 2022. *Dampak Aktivitas Produksi Industri Semen terhadap Lingkungan: Studi Kasus PT. Semen Padang (Persero)*. Universitas Gadjah Mada.

Hidayat, S. Y. (1986). ”Penelitian Pendahuluan Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly ash*) untuk Campuran Beton di Indonesia”. Jurnal Litbang Vol. III No. 4-5April dan Mei 1986, Jakarta. Anon, *Fly ash*. Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Fly_ash.

Hunggurami, E. (2014). "Karakteristik dan Pengujian Bata Ringan CLC."

Kearsley, E. P., & Wainwright, P. J. (2002). *The Use of Foamed Concrete for Affordable Housing in South Africa*. Cement and Concrete Research, 32(1), 107-112.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2020). *Laporan tahunan pengelolaan limbah B3 dan fly ash di Indonesia*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Kurniawan, I., & Putra, S. A. (2021). *Manfaat fly ash dalam pengurangan dampak lingkungan pada industri semen dan bangunan*. Jurnal Teknologi Lingkungan, 19(2), 112-120.

Latip, abdullah, hermana kaselle, and sri septhemy. "kekuatan bata ringan berbasis *fly ash* dan bottom ash dengan penambahan admixture." *prosiding seminar nasional terapan riset inovatif (sentrinov)*. Vol. 9. No. 1. 2023.

Maharani, Reka Putri, Nazarudin Nazarudin, and Fetty Febriasti Bahar. "Pengaruh Variasi Penambahan *Fly ash* Batu Bara Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan Bata Ringan." *Jurnal KOMPOSITS* 3.2 (2022): 20-25.

Maulana, Dikky Hilman, Ilham Ary Wahyudie, and Erwansyah Erwansyah. "Pengaruh *Fly ash* Terhadap Densitas Dan Kuat Tekan Bata Ringan." *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan* 1.2 (2023): 486-490.

Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology*. London: Prentice Hall.

Peraturan Bangunan Indonesia (PBI) 1971. Perbandingan Kuat Tekan

Prawira, D. A., & Soetomo, I. (2019). *Inovasi bata ringan sebagai alternatif ramah lingkungan dalam konstruksi bangunan*. Jurnal Konstruksi Indonesia, 10(1), 15-29.

PT Maxx Chem Indonesia. (2020). *Product Information: Foam Agent Maxx 102*.

Rahman, F. & Sari, A. D. (2021). *Studi performa bata ringan terhadap efisiensi energi dan ketahanan terhadap lingkungan*. Jurnal Bahan Bangunan, 22(4), 105-118.

Rahmayanti, rini, fetty febriasti bahar, and m. Nuklirullah. "pemanfaatan dan pengaruh *fly ash* batu bara sebagai substitusi sebagian semen terhadap nilai kuat tekan bata ringan jenis *Cellular Lightweight Concrete* (clc)." *siklus: jurnal teknik sipil* 9.2 (2023): 218-228.

Sadek, M., Mohammed, J., Reuben, A. (2020). *Bahan Kimia Konstruksi dan Bahan Bangunan* . Wiley.

Salim, M. R., & Sani, N. H. (2020). *Analisis dampak lingkungan dari produksi bata merah dan alternatif bahan bangunan ramah lingkungan*. Jurnal Teknologi dan Rekayasa, 25(3), 122-134.

SNI 03-0349-1989

SNI 03-0349-1989. Bata Ringan

SNI 03-1735-1989

SNI 03-2493-2002

SNI 03-6386-2000

SNI 2847:2019. Beton Struktural

SNI-03-2847–2002. Beton Struktural Bangunan

Standar pedoman penulisan Proposal & Skripsi

Sugianto, Wiku Ananda. "Pemanfaatan *Fly ash* Dan Kapur Alam Sebagai Bahan Pengganti Semen Terhadap Karakteristik Bata Ringan *Cellular Lightweight Concrete* (Clc)." (2022).

Sultan, Mufti Amir, and Raudha Hakim. "EFEK PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR SEMEN." *Clapeyron: Jurnal Ilmiadh Teknik Sipil* 2.1 (2021): 19-26.

Sumarsono, A. (2020). *Pengurangan jejak karbon pada produksi semen melalui penggunaan fly ash*. Jurnal Material dan Konstruksi, 30(3), 150-161.

Wathoni, muhammad munawir, dwi sabda budi prasetya, and dwi pangga. "uji mekanik bata ringan berbahan dasar limbah pengolahan emas dengan variasi limbah batu-bara dan semen." *jurnal penelitian dan pengkajian ilmu pendidikan: e-saintika* 2.1 (2018): 41-48.

Wibowo. 2019. *Analisis Dampak Lingkungan Industri Semen dan Upaya Pengelolaan Lingkungannya*. Universitas Gadjah Mada.

Yemima, p. G., abdi, f. N., & haryanto, b. (2023). "pemanfaatan limbah *fly ash* untuk bahan tambah pembuatan batu bata ringan." *jurnal teknologi sipil*, 7(2), 58-66.