

PENGARUH VARIASI CAMPURAN LIMBAH POPOK BAYI DAN *FLY ASH* UNTUK PEMBUATAN BATA RINGAN YANG RAMAH LINGKUNGAN

Jauza Altazaqi Putra Nufarahman^{*1}, Bagas Wahyu Adhi², Ahmad Hidayawan³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Batik Surakarta

email: ^{*1}aichan.ezzy69@gmail.com, ²bagaswahyu54@gmail.com, ³hidayawan11@gmail.com

Abstrak

Jumlah limbah popok bayi dan *fly ash* yang terus meningkat dianggap sebagai permasalahan lingkungan yang perlu segera diatasi. Popok bayi yang sulit terurai dan *fly ash* sebagai limbah sisa pembakaran batubara selama ini belum dapat dimanfaatkan secara optimal. Dalam penelitian ini, memanfaatkan kedua limbah tersebut sebagai bahan tambahan dalam pembuatan bata ringan. Pengujian ini menggunakan metode eksperimen, dengan variasi campuran 0%, 1%, 2%, dan 3%. Dari hasil pengujian, peningkatan kuat tekan didapatkan sebesar 3,17 MPa pada campuran 1% limbah popok bayi dan *fly ash*. Sementara itu, hasil yang lebih tinggi diperoleh dengan penambahan popok bayi yang mengandung gel, yaitu kuat tekan mencapai 9 MPa pada campuran 1% dengan pengujian 7 hari dan 13,74 MPa pada campuran 2% dengan pengujian 28 hari. Sementara itu, kuat lentur tertinggi sebesar 2,6 MPa diperoleh pada variasi campuran 3% Limbah Popok Bayi dan *Fly Ash* pada pengujian 28 hari. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa limbah yang selama ini dibuang begitu saja ternyata dapat dimanfaatkan sebagai material bangunan. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian selanjutnya dilakukan untuk mengoptimalkan komposisi campuran.

Kata kunci: Bata Ringan, Limbah *Fly Ash*, Limbah Popok Bayi, Uji Kuat Lentur, Uji Kuat Tekan

Abstract

The increasing amount of baby diaper waste and fly ash is considered an environmental problem that needs to be addressed immediately. Baby diapers that are difficult to decompose and fly ash as a waste residue from coal combustion have not been optimally utilized. In this study, utilizing both waste as additional materials in the manufacture of lightweight bricks. This test used an experimental method, with a mixture variation of 0%, 1%, 2%, and 3%. From the test results, an increase in compressive strength was obtained by 3.17 MPa in a mixture of 1% baby diaper waste and fly ash. Meanwhile, higher results were obtained by the addition of baby diapers containing gel, namely compressive strength reaching 9 MPa in a 1% mixture with a 7-day test and 13.74 MPa in a 2% mixture with a 28-day test. Meanwhile, the highest flexural strength of 2.6 MPa was obtained in a mixture variation of 3% Baby Diaper Waste and Fly Ash in a 28-day test. From these results, it can be concluded that waste that has been discarded can actually be used as a building material. Therefore, it is recommended that further research be conducted to optimize the composition of the mixture.

Keywords: Lightweight Bricks, Fly Ash Waste, Baby Diaper Waste, Flexural Strength Test, Compressive Strength Test

1. Pendahuluan

Seiring dengan kemajuan teknologi di bidang konstruksi, pengembangan material bangunan yang ringan, efisien, dan ramah lingkungan menjadi fokus utama dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Salah satu material yang terus dikembangkan adalah bata ringan, yaitu material bangunan berdensitas rendah yang mampu mengurangi beban struktur, mempercepat proses konstruksi, serta meningkatkan efisiensi penggunaan material. Bata ringan dapat diproduksi melalui berbagai metode, baik dengan penambahan bahan aditif seperti bubuk alumina maupun melalui pemanfaatan agregat ringan alami seperti batu apung, abu vulkanik, dan batuan diatomit. Selain itu, pemanfaatan limbah industri sebagai bahan campuran juga telah dikembangkan sejak awal abad ke-20, dengan teknologi bata ringan pertama kali diperkenalkan di Inggris pada tahun 1907 (Short & Kinniburgh, 1978).

Salah satu limbah industri yang telah banyak diteliti sebagai bahan campuran material konstruksi adalah fly ash, yaitu limbah sisa pembakaran batu bara. Fly ash memiliki harga relatif murah dan kandungan kimia yang memungkinkan penggunaannya sebagai bahan bangunan bermutu, sehingga berpotensi meningkatkan sifat mekanik bata ringan sekaligus mengurangi dampak lingkungan akibat penumpukan limbah industri (Safitri & Djumari, 2009). Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan fly ash dalam produk konstruksi dapat meningkatkan efisiensi material dan keberlanjutan, sehingga menjadikannya bagian penting dalam pengembangan material bangunan ramah lingkungan.

Di sisi lain, limbah popok bayi sekali pakai merupakan salah satu jenis limbah domestik yang jumlahnya terus meningkat dan menimbulkan permasalahan lingkungan yang serius. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, limbah popok bayi di Indonesia mencapai sekitar 3.488 ton per hari (BPS, 2023). Limbah ini tersusun atas plastik, serat selulosa, dan polimer superabsorben (super absorbent polymer/SAP) yang sulit terurai secara alami serta sering mengandung sisa biologis, sehingga berpotensi mencemari tanah dan badan air serta membahayakan kesehatan manusia dan ekosistem perairan (Nuralfiliani & Mustakim, 2024). Meskipun dampak negatif limbah popok bayi telah banyak dibahas, kajian mengenai pemanfaatannya sebagai bahan tambahan dalam material konstruksi masih sangat terbatas.

Dalam pengembangan bata ringan, teknologi Autoclaved Aerated Concrete (AAC) dan Cellular Lightweight Concrete (CLC) telah digunakan secara luas. Kedua jenis bata ringan tersebut memiliki keunggulan berupa berat jenis yang rendah, ketahanan terhadap air dan api, serta kekuatan mekanik yang memadai untuk aplikasi non-struktural (Kristanti & Tansajaya, 2008). AAC diproduksi melalui reaksi kimia dengan penambahan bubuk aluminium dan proses autoklaf bertekanan tinggi, sedangkan CLC dibuat melalui pencampuran busa secara fisik tanpa proses autoklaf (Lee & Abe, 2005). Dalam sistem CLC, mortar busa yang terdiri dari semen, air, agregat halus, dan foam agent berperan penting dalam membentuk struktur berongga yang ringan namun tetap memiliki kekuatan yang cukup (Susilowati & Nabhan, 2021; Rahman, 2016). Material dasar seperti semen Portland, air, dan agregat halus tetap menjadi komponen utama yang menentukan kualitas bata ringan. Semen Portland merupakan bahan pengikat hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan klinker yang mengandung kalsium silikat dengan penambahan kalsium sulfat (Farayatna, 2014), sementara kualitas air dan agregat halus harus memenuhi persyaratan teknis agar proses hidrasi dan pembentukan struktur material berlangsung optimal (Tjokrodimuljo, 2007; SNI 03-2834-2000).

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji pemanfaatan fly ash serta pengembangan bata ringan berbasis mortar busa, kajian yang mengintegrasikan limbah popok bayi sebagai bahan tambahan, khususnya dalam kombinasi dengan fly ash, masih sangat terbatas. Selain itu, penelitian yang membandingkan pengaruh penggunaan limbah popok bayi dalam bentuk gel dan tanpa gel terhadap sifat mekanik bata ringan, terutama kuat tekan dan kuat lentur, belum banyak dilaporkan. Kondisi ini menunjukkan adanya celah penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan limbah popok bayi dan fly ash sebagai bahan tambahan dalam pembuatan bata ringan, serta menganalisis pengaruhnya terhadap kuat tekan dan kuat lentur. Kebaruan penelitian ini terletak pada pemanfaatan limbah popok bayi—baik dalam bentuk gel maupun tanpa gel—yang dikombinasikan dengan fly ash sebagai bahan tambahan bata ringan, disertai dengan evaluasi komprehensif terhadap sifat mekanik yang dihasilkan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan material konstruksi yang lebih berkelanjutan sekaligus menjadi solusi alternatif dalam pengelolaan limbah domestik dan industri.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk pembuatan benda uji dengan pengaruh limbah popok bayi dan fly ash terhadap kuat tekan dan kuat lentur bata ringan. Pendekatan eksperimen dipilih karena memungkinkan pengendalian kondisi laboratorium serta analisis kuantitatif terhadap pengaruh variasi limbah pada karakteristik material. Variasi campuran yang digunakan adalah 0%, 1%, 2%, dan 3% untuk masing-masing limbah. Pengujian dilakukan pada benda uji berbentuk silinder untuk kuat tekan dan balok untuk kuat lentur pada umur 7 dan 28 hari. Alat yang digunakan antara lain cetakan beton silinder dan balok, alat uji tekan (*Concrete Testing Machine*), alat uji lentur *Hydraulic Concrete Beam, mixer*, serta *Vicat apparatus* untuk uji waktu ikat semen. Material utama yang digunakan meliputi semen Portland, pasir sebagai agregat halus, air bersih, foam agent, limbah popok bayi, dan *fly ash*. Proses pengujian material meliputi analisis konsistensi semen, gradasi agregat, kadar lumpur, berat jenis, dan penyerapan air. *Mix design* disusun berdasarkan hasil uji material. Selanjutnya, benda uji dibuat dan dirawat sebelum dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat lentur sesuai standar.

2.1. Prosedur Pembuatan Benda Uji

Prosedur pembuatan benda uji dilakukan dalam beberapa tahapan. Berikut ini adalah prosedur yang dilakukan dalam penelitian yaitu :

1. Menimbang dan menyiapkan material sesuai komposisi pada setiap variasi campuran.
2. Mencampur semen, pasir, air, foam agent, limbah popok bayi, dan fly ash secara merata menggunakan mixer.
3. Menuang adukan ke dalam cetakan silinder untuk uji kuat tekan dan cetakan balok untuk uji kuat lentur.
4. Memadatkan adukan secara manual atau dengan vibrator bila diperlukan.
5. Perawatan benda uji dilakukan dalam kondisi lembap untuk memastikan hidrasi semen optimal hingga umur pengujian.
6. Melakukan uji kuat tekan
7. Melakukan uji kuat lentur
8. Melakukan analisis hasil pengujian. Analisis dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata dari setiap variasi campuran dan membandingkannya, serta dilakukan evaluasi tren perubahan sifat mekanik untuk menarik kesimpulan yang valid

2.1. Uji Kuat Tekan

Kuat tekan adalah kemampuan beton menahan beban tekan hingga mengalami kerusakan atau hancur. Benda uji silinder diuji pada umur 7 hari dan 28 hari untuk mengevaluasi perkembangan kekuatan beton. Berdasarkan SNI 03-1974-1990, kuat tekan dinyatakan sebagai beban maksimum per satuan luas penampang benda uji. Rumus kuat tekan dinyatakan sebagai:

$$F'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

F'_c = Kuat tekan (MPa)

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm²)

2.2 Uji Kuat Lentur

Kuat lentur adalah kemampuan beton menahan tegangan akibat momen lentur pada dua perletakan hingga patah. Berdasarkan SNI 03-4431-1997, kuat lentur dinyatakan sebagai kapasitas balok beton menahan beban tegak lurus hingga patah, dengan satuan Mega Pascal (MPa). Benda uji balok diuji pada umur 7 hari dan 28 hari menggunakan *Hydraulic Concrete Beam Testing Machine*. Kuat lentur beton dapat dihitung dengan rumus :

$$F_r = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (2)$$

Keterangan:

F_r = Kuat lentur (MPa)

P = Beban maksimum sebelum patah (N atau kg × g)

L = Jarak antar tumpuan balok (cm)

b = Lebar balok (cm)

h = Tinggi balok (cm)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemeriksaan Material

Langkah awal sebelum pengujian utama adalah pengujian material dimana agar mendapatkan komposisi yang pas untuk *mix design*, pada pengujian material didapatkan hasil seperti pada Tabel 1. Dibawah ini. Hasil menunjukkan hasil pengujian material memenuhi standart yang telah ditentukan.

Tabel 1. Hasil pengujian material

No	Nama Pengujian	Standar	Hasil	Keterangan
1	Konsistensi normal semen	Penurunan jarum 10 mm	28,60%	Memenuhi
2	Waktu ikat awal semen	Penurunan jarum 25 mm	120 menit	Memenuhi
3	Berat jenis semen	3,0 - 3,20 gr/cm ³	3,05 gr/cm ³	Memenuhi
4	Analisa saringan agregat halus	Modulus Kehalusan 1,5 - 3,8	3,3925	Memenuhi
5	Berat jenis agregat halus	1,6 - 3,3 gr/cm ³	2,64 gr/cm ³	Memenuhi
6	penyerapan agregat halus	Maks 3%	2,72%	Memenuhi
7	Kadar lumpur agregat halus	Maks 5%	0,23%	Memenuhi
8	Berat Jenis <i>Fly Ash</i>	1,9 – 2,55 gr	2,28 gr	Memenuhi
9	Volume popok bayi gel			
	Lepas		79,86 gr/ltr	Memenuhi
	Padat		151,26 gr/ltr	Memenuhi
	Volume popok bayi tanpa gel			
	Lepas		49,79 gr/ltr	Memenuhi
	Padat		87,37 gr/ltr	Memenuhi

3.2 Perencanaan Bata Ringan

Perancangan komposisi campuran bata ringan dalam penelitian ini disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan, mengingat hal tersebut berpengaruh terhadap mutu akhir produk. Acuan yang digunakan dalam perencanaan campuran ini mengadaptasi metode *mix design* dari (Maharani, R.P., Nazarudin, Bahar, 2022) dengan komposisi rinci seperti berikut.

Tabel 2. *Mix Design* pabrik bata ringan

Material	Jumlah	Satuan
Semen	325	Kg
Pasir	650	Kg
Air	200	Ltr
<i>Foam Agent</i>	0,7	Ltr
Air <i>Foam Agent</i>	25	Ltr

Sumber : (Maharani, R.P., Nazarudin, Bahar, 2022)

Berdasarkan Tabel 2, Rasio awal antara semen dan pasir merujuk pada standar pabrikan bata ringan, yaitu 1:2. Sementara itu, penelitian ini menerapkan perbandingan 1:3 yang dimodifikasi dengan penambahan limbah popok bayi serta serbuk kayu sebagai bahan tambahan. Formulasi lengkap dari setiap variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 3 hingga Tabel 7.

Tabel 3. Mix Design kuat tekan dengan penambahan popok bayi gel

Mix design bata ringan kuat tekan dengan campuran popok bayi gel dan *Fly Ash*

Variasi	Semen	Agregat Halus	Air	Foam Agent	Air Foam Agent	Serbuk Kayu	Popok Bayi Gel
	Kg	Kg	ltr	ltr	ltr	Kg	Kg
0%	8,58	25,74	5,28	0,042	1,69	0	0
1%	8,58	25,74	5,28	0,042	1,69	0,09	0,09
2%	8,58	25,74	5,28	0,042	1,69	0,17	0,17
3%	8,58	25,74	5,28	0,042	1,69	0,26	0,26

Tabel 4. Mix Design kuat tekan dengan penambahan popok bayi tanpa gel

Mix design bata ringan kuat tekan dengan campuran popok bayi tanpa gel dan *Fly Ash*

Variasi	Semen	Agregat Halus	Air	Foam Agent	Air Foam Agent	Serbuk Kayu	Popok Bayi Tanpa Gel
	Kg	Kg	ltr	ltr	ltr	Kg	Kg
0%	8,58	25,74	5,28	0,042	1,69	0	0
1%	8,58	25,74	5,28	0,042	1,69	0,09	0,09
2%	8,58	25,74	5,28	0,042	1,69	0,17	0,17
3%	8,58	25,74	5,28	0,042	1,69	0,26	0,26

Tabel 5. Mix Design kuat lentur dengan penambahan popok bayi gel

Mix design bata ringan kuat lentur dengan campuran popok bayi gel dan *Fly Ash*

Variasi	Semen	Agregat Halus	Air	Foam Agent	Air Foam Agent	Serbuk Kayu	Popok Bayi Gel
	Kg	Kg	ltr	ltr	ltr	Kg	Kg
0%	21,72	65,15	13,37	0,11	4,28	0	0
1%	21,72	65,15	13,37	0,11	4,28	0,22	0,22
2%	21,72	65,15	13,37	0,11	4,28	0,43	0,43
3%	21,72	65,15	13,37	0,11	4,28	0,65	0,65

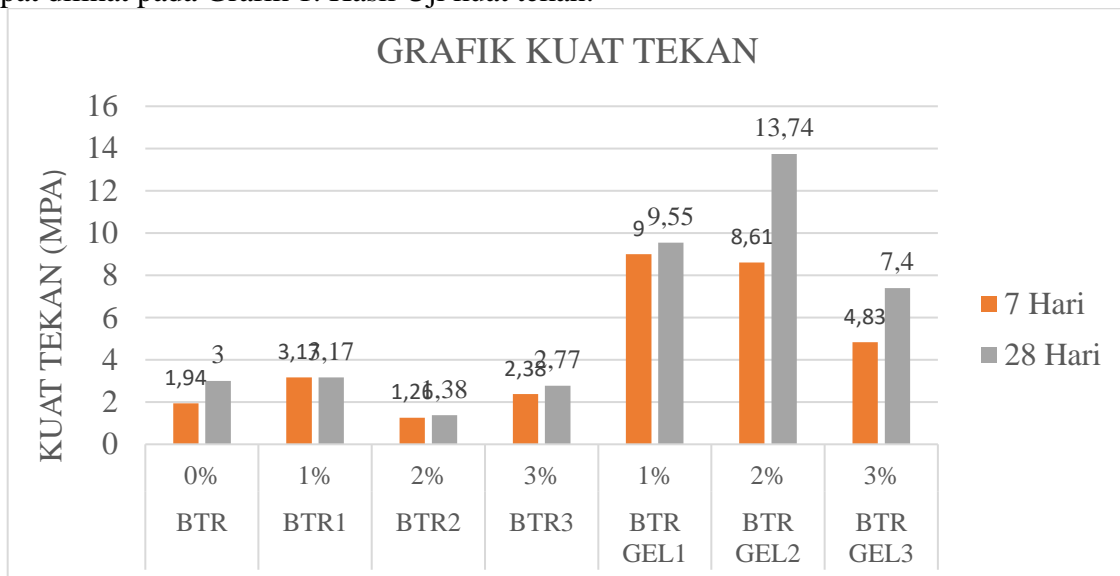
Tabel 6. Mix Design kuat lentur dengan penambahan popok bayi tanpa gel

Mix design bata ringan kuat lentur dengan campuran popok bayi tanpa gel dan *Fly Ash*

Variasi	Semen	Agregat Halus	Air	Foam Agent	Air Foam Agent	Serbuk Kayu	Popok Bayi Tanpa Gel
	Kg	Kg	ltr	ltr	ltr	Kg	Kg
0%	21,72	65,15	13,37	0,11	4,28	0	0
1%	21,72	65,15	13,37	0,11	4,28	0,22	0,22
2%	21,72	65,15	13,37	0,11	4,28	0,43	0,43
3%	21,72	65,15	13,37	0,11	4,28	0,65	0,65

3.3 Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil kuat tekan bata ringan. Dapat dilihat pada Grafik 1. Hasil Uji kuat tekan.



Grafik 1. Hasil Uji kuat tekan

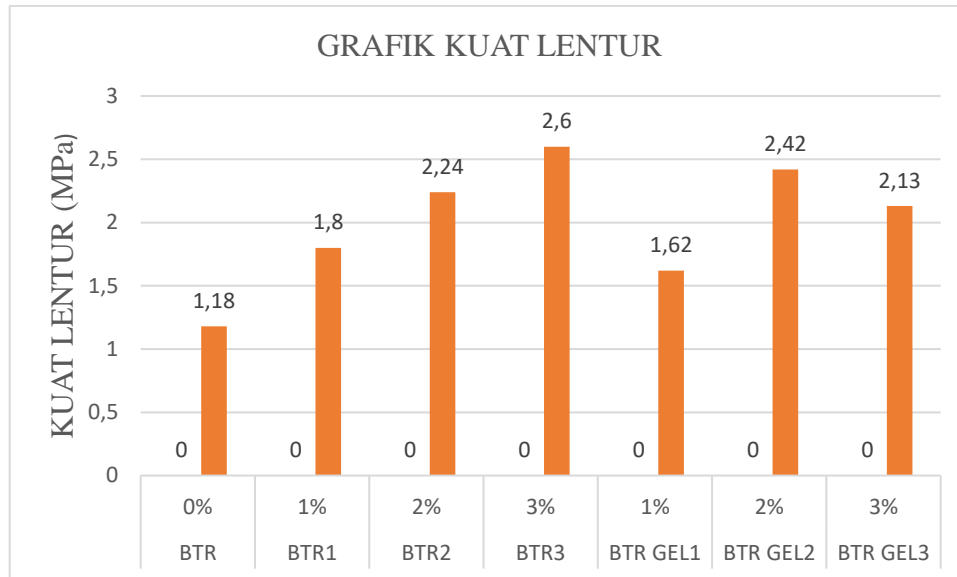
Tabel 7. Matrix Uji kuat tekan

Mix Design	Komposisi Limbah Popok Bayi dan Fly Ash	KUAT TEKAN (MPa)	
		7 Hari	28 Hari
Variant 0%	0% Limbah Popok Bayi : 0% Fly Ash	1,94	3
Variant 1%	1% Limbah Popok Bayi : 1% Fly Ash	3,17	3,17
Variant 2%	2% Limbah Popok Bayi : 2% Fly Ash	1,26	1,38
Variant 3%	3% Limbah Popok Bayi : 3% Fly Ash	2,38	2,77
Variant Gel 1%	1% Gel Popok Bayi : 1% Fly Ash	9	9,55
Variant Gel 2%	2% Gel Popok Bayi : 2% Fly Ash	8,61	13,74
Variant Gel 3%	3% Gel Popok Bayi : 3% Fly Ash	4,83	7,4

Hasil dari grafik dan *matrix* diatas menunjukkan penggunaan limbah gel popok bayi memperoleh hasil kuat tekan tertinggi daripada penggunaan limbah popok bayi tanpa gel.

3.4 Pengujian Kuat Lentur

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil kuat lentur bata ringan. Dapat dilihat pada Grafik 2. Hasil Uji kuat lentur



Grafik 2. Hasil Uji kuat lentur

Tabel 8. *Matrix* Uji kuat lentur

Mix Design	Komposisi Limbah Popok Bayi dan Fly Ash	KUAT LENTUR (MPa)	
		7 Hari	28 Hari
Variant 0%	0% Limbah Popok Bayi : 0% Fly Ash	0	1,18
Variant 1%	1% Limbah Popok Bayi : 1% Fly Ash	0	1,8
Variant 2%	2% Limbah Popok Bayi : 2% Fly Ash	0	2,24
Variant 3%	3% Limbah Popok Bayi : 3% Fly Ash	0	2,6
Variant Gel 1%	1% Gel Popok Bayi : 1% Fly Ash	0	1,62
Variant Gel 2%	2% Gel Popok Bayi : 2% Fly Ash	0	2,42
Variant Gel 3%	3% Gel Popok Bayi : 3% Fly Ash	0	2,13

Hasil dari grafik dan *matrix* diatas penggunaan limbah gel popok bayi mendapatkan hasil kuat lentur yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan limbah popok bayi tanpa gel.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa penambahan limbah popok bayi dan fly ash memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tekan dan kuat lentur bata ringan. Varian campuran terbaik untuk kuat tekan tanpa gel diperoleh pada komposisi 1% limbah popok bayi dan 1% fly ash, dengan nilai sebesar 3,17 MPa pada umur 7 dan 28 hari. Sementara itu, pemanfaatan popok bayi berbasis gel menunjukkan hasil yang lebih tinggi, di mana campuran 1% gel popok bayi dan fly ash mencapai 9 MPa pada umur 7 hari, dan komposisi 2% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 13,74 MPa pada umur 28 hari. Untuk kuat lentur, nilai maksimum tercapai pada campuran 3% limbah popok bayi dan fly ash, dengan nilai 2,6 MPa pada pengujian 28 hari. Penambahan 1% hingga 2% gel popok bayi dan fly ash terbukti lebih efektif dalam meningkatkan kuat tekan dibandingkan bata ringan tanpa bahan tambahan. Sementara itu, peningkatan kuat lentur lebih signifikan dengan penambahan limbah popok bayi non-gel. Perbedaan performa antara popok biasa dan gel terletak pada kontribusinya terhadap

karakteristik mekanis, di mana limbah gel lebih unggul dalam kuat tekan, dan popok biasa lebih berpengaruh pada kuat lentur.

4.2 Saran

1. Pengujian Kuat lentur dapat dilakukan dengan menggunakan alat test yang cara membaca hasil uji nya sudah berbasis dengan digital, hal ini dikarenakan kurang maksimalnya hasil uji kuat lentur yang sudah penulis lakukan pada umur pengujian 7 hari.
2. Pada penelitian berikutnya peneliti dapat mencari varian penambahan material yang pas agar didapatkan hasil yang lebih maksimal
3. *Mixing Foam Agent* lebih baik dilakukan ketika bahan utama dengan bahan penambahan sudah tercampur secara merata atau *homogen*, lakukan *mixing* dengan menggunakan alat berbeda dari yang penulis gunakan. Hal ini dikarenakan *mixing* dengan menggunakan alat *mixer* hasilnya kurang sempurna atau tidak konsisten untuk setiap *mixing* yang penulis lakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Farayatna, R. J. (2014). Analisa Kuat Tekan Beton dengan Penggunaan Jenis Semen yang Berbeda pada Mutu Beton K-300. *Universitas Medan Area*.
- Kristanti, N., & Tansajaya, A. (2008). Studi Pembuatan Cellular Lightweight Concrete (CLC) dengan Menggunakan Beberapa Foaming Agent. *Jurusan Teknik Sipil, Universitas Petra Surabaya*.
- Lee, Y., & Abe, A. (2005). Perencanaan Daerah Partisipatif Yogyakarta. *Pustaka*.
- Maharani, R.P., Nazarudin, Bahar, F. F. (2022). Pengaruh Variasi Penambahan Fly Ash Batu Bara Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Nilai Kuat Tekan Bata Ringan. *Jurnal Komposits*, 3.
- Nuralfiliani, Mustakim, & J. (2024). Pemanfaatn Limbah Hidrogel Popok Bayi sebagai Bahan Campuran Pembuatan Bata Ringan. *Universitas Sulawesi Tenggara*.
- Rahman, Z. A. (2016). Pemanfaatan Limbah Beton pada Campuran *Hot Rolled Sheet Base* Ditinjau dari Aspek *Propertis Marshall*. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Safitri, A., & Djumari, D. (2009). Kajian Teknis dan Ekonomis Pemanfaatan Limbah Batu bara (Fly Ash) pada Produksi Paving Block. *Media Teknik Sipil Universitas Kristen Petra*, 9.
- Short, A., & Kinniburgh, W. (1978). *Lightweight Concrete*.
- SNI 03-1974-1990. (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Berbentuk Silinder*.
- SNI 03-2834-2000. (2000). *Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal*.
- SNI 03-4431-1997. (1997). *Metode Pengujian Kuat Lentur Normal dengan dua titik Pembebanan*.
- Susilowati, A., & Nabhan, F. (2021). Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Mortar Busa. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, 2.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Concrete Technology*. Yogyakarta: Nafiri.