



POTENSI LIMBAH KARBIT SEBAGAI PENGGANTI SEMEN PADA BATA RINGAN

¹Cut Rahmawati, ²Meliyana

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil Universitas Abulyatama
cutrahmawati@abulyatama.ac.id
meliyana_sipil@abulyatama.ac.id

ABSTRAK

Bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) banyak digunakan pada bangunan tinggi (*high rise building*) untuk mengurangi berat sendiri bangunan yang akan berdampak pada pembebanan pondasi. Pada penelitian ini digunakan limbah karbit sebagai bahan pembentuk bata ringan karena limbah karbit terbuang begitu saja dan tidak dimanfaatkan. Pemanfaatan limbah karbit sebagai material bata ringan akan sangat membantu dalam menjaga kelestarian lingkungan melalui program *Waste Co Processing*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi limbah karbit sebagai pengganti semen dalam peningkatan kuat tekan dan daya serap air. Penelitian dilakukan di laboratorium dengan menganalisis sifat fisis material yang akan digunakan, membuat rancangan campuran dan menganalisis kuat tekan dan daya serap air bata ringan. Kontrol berat jenis dilakukan pada 800 kg/cm^3 . Pada benda uji kontrol tanpa penambahan karbit diperoleh kuat tekan sebesar 2,06 Mpa. Penambahan 5% karbit meningkatkan kuat tekan menjadi 2,33Mpa, terjadi peningkatan sebesar 12,95%. Tambahan karbit sebesar 5% menurunkan daya serap air menjadi 17,45%, namun pada konsentrasi 10% dan 15% karbit, nilai daya serap air naik diatas batas normal yang diizinkan. Hal ini disebabkan karena pada persentase 5%, karbit terdistribusi dengan baik dan dapat mengisi pori pada campuran bata ringan. Penambahan karbit menyebabkan penambahan foaming agent membuat pori-pori bata menjadi lebih terbuka dan daya serap air akan meningkat. Hubungan kuat tekan dan daya serap air pada bata ringan adalah semakin tinggi daya serap air pada bata ringan maka semakin rendah kuat tekan bata ringan. Limbah karbit berpotensi sebagai material pengganti semen yaitu pada penggunaan 5% dari berat semen.

Kata kunci: karbit, bata ringan, kuat tekan, daya serap air

ABSTRACT

Cellular Lightweight Concrete (CLC) is widely used in tall buildings to reduce the building's weight which will affect the loading of the foundation. In this study, carbide waste is used as a cellular lightweight concrete forming material because carbide waste is thrown away and is not utilized. Utilization of carbide waste as a cellular lightweight concrete material will greatly assist in preserving the environment through the Waste Co-Processing program. This study aimed to analyze the potential of carbide waste as a substitute for cement in increasing compressive strength and water absorption of cellular lightweight concrete. Density control was performed at 800 kg / cm^3 . In the control specimens without the addition of carbide, it was obtained a compressive strength was 2.06 MPa. The addition of 5% carbide reduced water absorption to 17.45%, while at concentrations of 10% and 15% carbide, the water absorption value rises above the permitted normal limit. It is due to because a percentage of 5% carbide is well distributed and could fill pores in cellular lightweight concrete. The addition of carbide causes the addition of foaming agents to make cellular lightweight concrete pores more open and water absorption will increase. The relationship of compressive strength and water absorption in a cellular lightweight concrete is the higher the water absorption in light bricks, the lower the compressive strength of cellular lightweight concrete. Carbide waste has the potential as a substitute material for cement, which is the use of 5% weight of cement.

Keywords: carbide, light weight brick, compressive strength, suction rate



I. PENDAHULUAN

Bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) banyak digunakan pada bangunan tinggi (*high rise building*) dan telah mengalami berbagai inovasi dalam upaya meningkatkan kualitasnya. Inovasi yang telah dilakukan pada bata ringan dan beton ringan berupa penambahan limbah sebagai bahan substitusi dalam bata ringan. Pada penelitian ini digunakan limbah karbit sebagai bahan pembentuk bata ringan karena peneliti melihat limbah karbit terbuang begitu saja dan tidak dimanfaatkan. Pemanfaatan limbah karbit sebagai material bata ringan akan sangat membantu dalam menjaga kelestarian lingkungan melalui program *Waste Co Processing*. *Waste Co Processing* adalah pemanfaatan limbah hasil suatu industri untuk industri lainnya (Parlikar, Bundela, Baidya, & Ghosh, 2016), (Guimarães, Vaz-Fernandes, Ramos, & Martinho, 2018).

Permasalahan terkait kelestarian lingkungan, mengurangi penggunaan semen sebagai material konstruksi dan pentingnya ketahanan bata ringan mendorong peneliti untuk melakukan penelitian penambahan limbah karbit pada bata ringan untuk meningkatkan durabilitasnya.

Permasalahan yang akan diteliti adalah apakah penambahan limbah karbit akan meningkatkan durabilitas bata ringan dan layak untuk digunakan sebagai bahan konstruksi. Durabilitas yang akan diteliti terkait dengan kekuatan tekan dan tingkat daya serap air. Kedua hal ini sangat berhubungan dengan penggunaan bata ringan sebagai material dinding.

Bata ringan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) memiliki berat berkisar antara 600-1800 gr/m³ yang lebih ringan dari bata biasa. Bata ringan ini memiliki kuat tekan 1Mpa–15 Mpa (Arita, Kurniawandy, & Taufik, 2017). Bata ringan dengan kepadatan rendah (400-600 Kg/m³) digunakan untuk dinding partisi, kepadatan sedang (600-1000 Kg/m³) digunakan sebagai dinding pengganti batu bata, sedangkan kepadatan tinggi (1000-1800 Kg/m³) digunakan untuk struktur.

Bata ringan ini dibuat dengan cara memasukkan gelembung udara (*Foaming Agent*) pada campuran mortar. *Foaming Agent* berbahan dasar sintesis, memiliki kepadatan sekitar 40 kg/m³ merupakan pengembang karena ketika dicampurkan dengan campuran yang lainnya akan bereaksi dengan kalsium hidrosida (Ca(OH)₂) dan membentuk hidrogen (Hu, Gu, Liu, & Zhao, 2018). Pemberian foaming agent yang tepat dapat meningkatkan kepadatan (Sun, Zhu, Guo, Zhang, & Sun, 2018). *Foaming Agent* dapat mengembang sekitar 25 kali. Alumunium merupakan bahan pembentuk busa pada *foaming agent* dan bereaksi dengan kalsium hidrosida serta membentuk mikro struktur mengisi partikel (Hajimohammadi, Ngo, & Mendis, 2017).

Durabilitas adalah kemampuan material untuk bertahan dalam jangka waktu yang lama dari pengaruh-pengaruh yang ada baik dari dalam materialnya sendiri atau pengaruh luar (Subathra Devi, 2018) (Cabral-Fonseca et al., 2018).



II. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan proses *trial mix-design* untuk mendapatkan komposisi campuran dengan berat jenis 800 kg/m^3 sesuai dengan yang disyaratkan SNI 03-0349-1989. *trial mix-design* dilakukan pada komposisi campuran limbah karbit 0%, 5%, 10%, 15%.

Preparasi Sampel Bata Ringan (*Mix Design*)

Bahan baku yang digunakan terdiri dari semen portland type I, limbah karbit, foaming agent dan air. Untuk menghasilkan foam, perbandingan campuran *foaming agent* dan air adalah 1:40. Foaming agent ini diencerkan dengan bantuan generator untuk membentuk busa gas. Kebutuhan foam adalah 0,7 dari berat campuran mortar. Mortar merupakan campuran dari semen, air dan limbah karbit. Berat semen ditentukan oleh Faktor Air Semen (FAS) yang direncanakan yaitu FAS 0,5. Dari perbandingan ini didapat berat semen (Kg) yang telah dikalikan dengan berat jenis yang direncanakan (800 Kg/m^3). Untuk berat air adalah setengah dari berat semen. Variasi limbah karbit yang ditambahkan ke dalam campuran bata ringan adalah 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Bata ringan juga dibuat dengan tanpa adanya campuran limbah karbit (0%). Kebutuhan limbah karbit ditentukan dari berat semen sesuai dengan persentase yang telah ditetapkan.

Pembuatan Benda Uji dan Rancangan Campuran

Cetakan bata ringan yang digunakan berukuran 10 cm x 10cm x 10cm. Setelah semua alat dipersiapkan dilakukan pencampuran mortar sesuai dengan mix design. Semen dan air dicampur sesuai dengan FAS 0,5 setelah tercampur rata dimasukkan foam. Setelah itu dilakukan pengujian berat jenis dengan alat piknometer. Jika tidak didapatkan berat jenis 800 Kg/m^3 maka dilakukan penambahan foaming agent sampai didapatkan berat jenis rencana. Adukan dimasukkan kedalam cetakan yang sudah dipersiapkan. Pada umur 1 hari cetakan dibuka dan dijemur selama 5 hari kemudian disimpan.

Pengujian Sampel

Pengujian daya serap air (*suction rate*)

Bata ringan direndam terlebih dahulu selama 24 jam dan ditimbang (gram). Bata ringan yang lainnya dioven selama 24 jam dan ditimbang. Penyerapan air adalah perbandingan berat air yang diserap pori-pori bata ringan terhadap berat kering bata ringan dan dinyatakan dalam persen. Rumus yang digunakan untuk mengukur daya serap air adalah :

$$\text{Daya Serap Air} = \frac{\text{Berat Sampel Jenuh} - \text{Berat Sampel Kering}}{\text{Berat Sampel Kering}}$$

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur bata ringan 28 hari untuk setiap variasi bata ringan sebanyak 5 buah. Pengujian kuat tekan adalah kemampuan bata ringan untuk menerima gaya tekan persatuan luas.



Besarnya kuat tekan dihitung dengan cara membagi beban maksimum pada saat benda uji hancur dengan luas penampang benda uji berdasarkan pada SNI 03-6825-2002.

Tata cara pengujian menggunakan SNI 03-6825-2002.. Alat yang digunakan adalah *Universal Testing Machine* (UTM). Rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan adalah :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

$f'c$ = Kuat Tekan Bata Ringan (Kg/m^2)

P = Beban Maksimum (Kg)

A = Luas Penampang Benda Uji (m^2)

Berat Jenis Bata Ringan

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat dan volume. Rumus yang digunakan untuk menghitung berat jenis adalah :

$$\gamma = \frac{w}{v}$$

Keterangan :

γ = Berat Jenis Bata Ringan (Kg/m^3)

w = Berat Bata Ringan (Kg)

v = Volume Bata Ringan (m^3)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia Limbah Karbit

Limbah karbit lokal yang ada di Banda Aceh memiliki kandungan kandungan kalsium yang cukup tinggi yaitu 61,30%. Kandungan kalsium ini cukup potensial dimanfaatkan dalam substitusi semen pada bata ringan. Komposisi unsur kimia dari limbah karbit yang ada di Kota Banda Aceh dan telah diuji oleh peneliti sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi Unsur Kimia Limbah Karbit

No.	Parameter Uji	Hasil (%)
-----	---------------	-----------

No.	Parameter Uji	Hasil (%)
1	SiO ₂	1,90
2	Al ₂ O ₃	0,15
3	CaO	61,30
4	MgO	2,70
5	SO ₂	0,24
6	Na ₂ O	4,48
7	K ₂ O	1,53

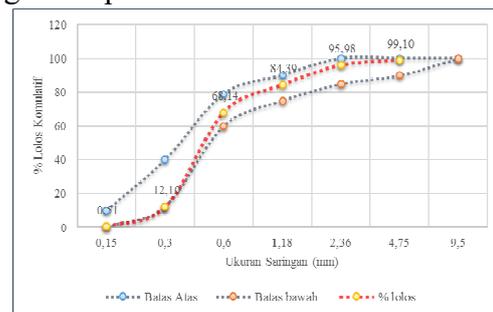
Sumber : Hasil Uji Peneliti

Pemeriksaan sifat fisis Agregat Halus

Pemeriksaan agregat hanya dilakukan adalah terhadap agregat halus (pasir). Pemeriksaan sifat-sifat fisis mencakup susunan gradasi butiran agregat, specific gravity, berat volume dan kadar lumpur. Dalam penelitian ini diameter agregat halus maksimum yang digunakan adalah yang tertahan pada saringan 4,75 mm dan lolos saringan 9,5 mm.

a. Susunan butiran agregat

Susunan butiran/gradasi agregat diperiksa dengan menggunakan susunan ayakan dari No 9,5 mm sampai dengan No 0,15 mm. SNI 03-2834-2000 membagi kekasaran pasir menjadi empat kelompok menurut gradasi yaitu pasir halus (Zona 4), agak halus (zona 3), agak kasar (zona 2) dan kasar (zona 1). Dari hasil pemeriksaan tersebut diperoleh grafik gradasi dan *Fineness Modulus* (FM). Berikut disajikan hasil pemeriksaan gradasi pasir.





Gambar 1. Grafik Hasil Pemeriksaan Gradasi Agegat Halus

Berdasarkan Gambar 1 terlihat gradasi pasir cukup baik berada pada daerah gradasi zona 3 dengan kategori pasir agak halus

Modulus kehalusan butir (*fineness modulus = FM*)

Modulus kehalusan butir pasir yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 2,40. Ini menunjukkan pasir yang digunakan sesuai persyaratan nilai FM untuk pasir yaitu berkisar antara 1,50 – 3,8 dan menurut SII 0052-80 sebesar 2,5 – 3,8. Perhitungan nilai kehalusan pasir seperti tertera pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Modulus

ASTM	Ukuran Saringan		Jumlah Tertahan (gram)	Persen Tertahan	Persen Tertahan
	SNI	mm		(%)	Kumulatif
3/8"	9,60	9,50			
No. 4	4,80	4,75	4,2	0,90	0,90
No. 8	2,40	2,36	14,6	3,12	4,02
No. 16	1,20	1,18	54,2	11,59	15,61
No. 30	0,60	0,60	76	16,25	31,86
No. 50	0,30	0,30	262	56,03	87,90
No. 100	0,15	0,15	54,2	11,59	99,49
sisa			2,4	0,51	
TOTAL			467,60	100,00	239,78
Modulus Kehalusan Pasir					2,40

Berat volume (bulk density)

Menurut British Standar 812, berat volume agregat yang baik untuk material beton mempunyai nilai yang lebih besar dari 1.445 kg/m³. Berdasarkan hasil pemeriksaan berat volume pasir berkisar antara 1.520 – 1.720 kg/m³ dengan berat volume rata-rata sebesar 1.609 kg/m³. Berdasarkan hasil pemeriksaan pasir dapat digunakan untuk campuran bata ringan.

Pemeriksaan Berat Jenis Pasir

Pemeriksaan berat jenis dan SSD pasir perlu dilakukan untuk mengetahui pasir tersebut telah memenuhi syarat atau belum untuk bahan campuran adukan beton. Berdasarkan hasil pemeriksaan berat jenis jenuh permukaan (*saturated surface dry*) pasir adalah 2,779 dan keadaan kering oven sebesar 2,734 sehingga pasir telah memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bangunan. PUBLI 1982 Pasal 11 Pasir Beton menyatakan syarat berat jenis pasir yang baik adalah 2.4-2.9.

Pemeriksaan Kadar Lumpur

Standar yang digunakan adalah SNI 03-1750-1990. Hasil pemeriksaan kadar lumpur dilakukan dengan melarutkan pasir dalam gelas ukur berisi air. Setelah 24 jam terlihat endapan pasir dengan tinggi sebesar 50 ml dan tinggi lumpur sebesar 5 ml sehingga diperoleh kadar lumpur sebesar 7,41%. Dari hasil pemeriksaan menunjukkan pasir tidak dapat digunakan sebagai campuran mortar karena tidak memenuhi syarat SNI 03-1750-1990 sebesar maksimum 5% dan syarat ASTM C-33-2003 sebesar maksimum 3%. Untuk mengantisipasi hal ini maka pasir sebelum digunakan harus dicuci terlebih dahulu.

Rekapitulasi Pemeriksaan Sifat Fisis Pasir

Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa pasir yang digunakan memenuhi syarat sebagai material campuran (mortar). Selengkapnya seperti tertera pada tabel berikut.



Tabel 3. Rekapitulasi Pemeriksaan Sifat Fisis Pasir

No	Sifat Fisis	Satuan	Hasil Pemeriksaan	KET
1	Gradasi/Susunan butir		Gradasi No. 3	memenuhi
2	Modulus Kehalusan (FM)		2,4	memenuhi
3	Berat Volume	Kg/m ³	1.609	memenuhi
4	Berat Jenis		2,779	memenuhi
5	Penyerapan Air	%	1,658	memenuhi
6	Kadar Lumpur	%	7,41	harus dicuci

Campuran Adukan Mortar

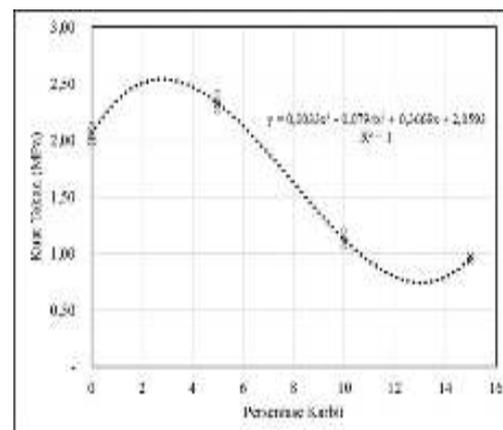
Campuran mortar untuk bata ringan dilakukan dengan proses coba-coba. Hal ini dikarenakan tidak ada standar khusus dalam perencanaan campuran mortar untuk bata ringan. Pada beton normal, perencanaan didasarkan pada kuat tekan tertentu yang ingin dicapai dan rasio air semen yang disesuaikan dengan standar yang digunakan. Namun, bata ringan selain kuat tekan juga harus diperhatikan densitas karena persentase volume udara sebagai variabel yang variatif menentukan densitasnya. Pengurangan volume rongga akan menghasilkan peningkatan kuat tekan dan densitas bata ringan.

Tabel 4. Rancangan campuran bata ringan

No. Sampel	Kebutuhan Material untuk 1m ²				
	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Air (Kg)	Foam (Liter)	Limbah Karbit (Kg)
CLC 0	320	320	160	513	0
CLC 5	283	320	160	513	14,4
CLC 10	272	320	160	513	27,2
CLC 15	256	320	160	513	38,4

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Dari hasil pengujian kuat tekan terlihat terjadi peningkatan kuat tekan pada persentase karbit sebesar 5 persen, namun setelah itu dengan penambahan persentase karbit justru menurunkan kuat tekan bata ringan. Pada benda uji kontrol tanpa penambahan karbit diperoleh kuat tekan sebesar 2,06 Mpa. Penambahan 5% karbit meningkatkan kuat tekan menjadi 2,33 Mpa, terjadi peningkatan sebesar 12,95%. Hasil kuat tekan selengkapnya seperti pada Gambar berikut.



Gambar 2. Kuat Tekan Bata Ringan dengan Variasi Konsentrasi Karbit

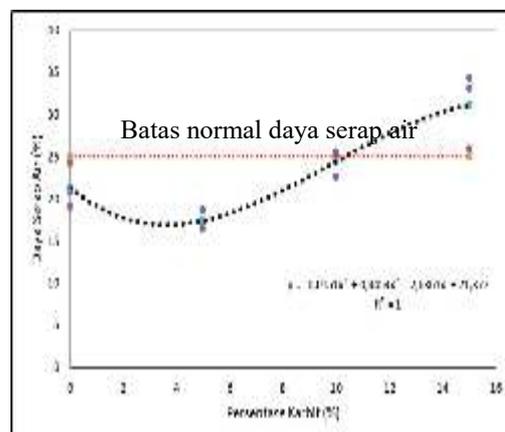
Peningkatan kuat tekan pada bata ringan dengan konsentrasi 5% karbit terjadi karena semen dapat mengikat karbit dan berpengaruh pada kuat tekan yang dihasilkan. Pada persentase karbit 10% terjadi penurunan kuat tekan karena banyaknya gelembung udara yang terdapat dalam bata ringan. Penambahan karbit menyebabkan penambahan foaming agent untuk menjaga bata ringan agar tetap berada



pada berat volume yang direncanakan yaitu 800 kg/cm^3 . Penambahan foaming agent menyebabkan pori-pori udara yang terbentuk semakin banyak dan bata ringan menjadi rapuh. Hal ini terus terjadi sampai penambahan karbit 15%.

Hasil Pengujian Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan pada saat bata ringan berumur 28 hari. Hasil pengujian daya serap air ditampilkan pada gambar berikut.



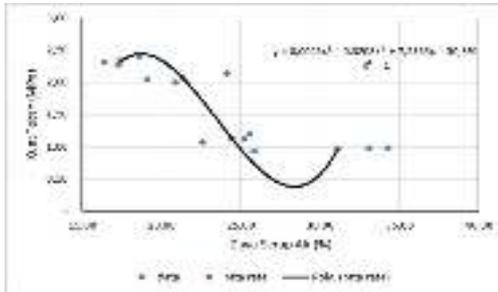
Gambar 3. Grafik Hubungan Persentase Karbit dengan Daya Serap Air

Berdasarkan Gambar 3 terlihat nilai serapan air rata-rata bata ringan normal sebesar 21,38%. Tambahan karbit sebesar 5% menurunkan daya serap air menjadi 17,45%. Hal ini disebabkan karena karbit terdistribusi dengan baik dan dapat mengisi pori pada campuran bata ringan. Namun pada konsentrasi 10% dan 15% karbit, nilai daya serap air naik diatas batas normal yang dizinkan. Hal ini disebabkan karena ukuran agregar menjadi homogen sehingga terbentuk pori dan sifat dari karbit yang sangat mudah menyerap air. Pada konsentrasi

10% karbit nilai daya serap air masih dibawah batas normal yang diijinkan untuk daya serap air pada bata ringan, namun pada penambahan konsentrasi karbit menjadi 15% daya serap air menjadi tinggi diatas batas normal. Hal ini disebabkan karena banyak pori-pori yang terbentuk sehingga daya serap air menjadi tinggi. Disamping itu dengan penambahan volume karbit juga terjadi penambahan foaming agent sehingga reaksi *eksothermal* antara komposisi utama karbit CaO dan SiO_2 menimbulkan panas dan gelembung-gelembung gas CO_2 dan H_2O selama proses pengadukan dan mengurai pada masa pengerasan. Gelembung-gelembung udara ini menjadikan volume campuran bata ringan menjadi lebih besar dari volume awal. Pada tahap akhir pengembangan campuran mortar maka hidrogen terlepas ke atmosfer dan posisinya digantikan oleh udara dan benton menjadi ringan. Semakin banyak konsentrasi karbit maka akan meningkatkan jumlah kebutuhan foaming agent sehingga pori-pori yang terbentuk juga semakin banyak. Dengan banyaknya pori maka bata ringan akan banyak menyerap air.

Hubungan Daya Serap Air Terhadap Kuat Tekan

Daya serap air akan menentukan kuat tekan bata ringan. Hubungan keduanya dapat digambarkan sebagai hubungan yang saling terkait satu sama lain.



Gambar 4. Hubungan daya serap air dengan kuat tekan

Dari gambar diatas terlihat semakin tinggi daya serap air pada bata ringan maka semakin rendah kuat tekannya. Ternyata variasi karbit tidak cukup menurunkan daya serap air pada bata ringan. Besar komposisi karbit pada campuran akan menaikkan nilai daya serap air, karena semakin banyak pori-pori yang terdapat pada bata ringan dan semen kurang dapat mengikat karbit dalam jumlah banyak, bila dibandingkan dengan volume karbit lebih kecil maka pori-pori pada bata ringan lebih sedikit dan semen lebih mengikat sehingga peyerapan air menjadi lebih sedikit.

III. KESIMPULAN

Dari keseluruhan proses laboratorium dan analisis dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Limbah karbit berpotensi sebagai bahan pengganti semen pada bata ringan. Karbit yang digunakan mengandung kalsium sebesar 61,30%. Kalsium ini sangat

potensial digunakan sebagai bahan pengikat menggantikan semen.

2. Hasil pengujian sifat fisis menunjukkan material pasir yang digunakan sudah memenuhi syarat sebagai material beton, hanya saja pasir perlu dicuci terlebih dahulu untuk menghilangkan lumpur.
3. Pada benda uji kontrol tanpa penambahan karbit diperoleh kuat tekan sebesar 2,06 Mpa. Penambahan 5% karbit meningkatkan kuat tekan menjadi 2,33%, terjadi peningkatan sebesar 12,95%. Pada persentase karbit 10% terjadi penurunan kuat tekan karena banyaknya gelembung udara yang terdapat dalam bata ringan.
4. Foaming agent berperan dalam kekuatan tekan bata ringan. Penambahan foaming agent menyebabkan pori-pori udara yang terbentuk semakin banyak dan bata ringan menjadi rapuh. Hal ini terus terjadi sampai penambahan karbit 15%.
5. Tambahan karbit sebesar 5% menurunkan daya serap air menjadi 17,45%. Hal ini disebabkan karena karbit terdistribusi dengan baik dan dapat mengisi pori pada campuran bata ringan. Namun pada konsentrasi 10% dan 15% karbit, nilai daya serap air naik diatas batas normal yang diizinkan.
6. Semakin tinggi daya serap air pada bata ringan maka semakin rendah kuat tekan bata ringan.



DAFTAR PUSTAKA

- Arita, D., Kurniawandy, A., & Taufik, H. (2017). Tinjauan Kuat Tekan Bata Ringan Menggunakan Bahan Tambah Foaming Agent. *Joam FTeknik*, 5(1), 1–11.
- Cabral-Fonseca, S., Correia, J. R., Custódio, J., Silva, H. M., Machado, A. M., & Sousa, J. (2018). Durability of FRP - concrete bonded joints in structural rehabilitation: A review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 83, 153–167.
<https://doi.org/10.1016/J.IJADHADH.2018.02.014>
- Guimarães, A. G., Vaz-Fernandes, P., Ramos, M. R., & Martinho, A. P. (2018). Co-processing of hazardous waste: The perception of workers regarding sustainability and health issues in a Brazilian cement company. *Journal of Cleaner Production*, 186, 313–324.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.03.092>
- Hajimohammadi, A., Ngo, T., & Mendis, P. (2017). How does aluminium foaming agent impact the geopolymer formation mechanism? *Cement and Concrete Composites*, 80, 277–286.
<https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2017.03.022>
- Hu, D., Gu, Y., Liu, T., & Zhao, L. (2018). Microcellular foaming of polysulfones in supercritical CO₂ and the effect of co-blowing agent. *The Journal of Supercritical Fluids*, 140, 21–31.
<https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2018.05.017>
- Parlikar, U., Bundela, P. S., Baidya, R., & Ghosh, S. K. (2016). Effect of Variation in the Chemical Constituents of Wastes on the Co-processing Performance of the Cement Kilns. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 506–512.
<https://doi.org/10.1016/J.PROENV.2016.07.035>
- Subathra Devi, V. (2018). Durability properties of multiple blended concrete. *Construction and Building Materials*, 179, 649–660.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.05.056>
- Sun, C., Zhu, Y., Guo, J., Zhang, Y., & Sun, G. (2018). Effects of foaming agent type on the workability, drying shrinkage, frost resistance and pore distribution of foamed concrete. *Construction and Building Materials*, 186, 833–839.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.08.019>