

## Desain Bahan Dasar Campuran Bata Ringan dari Limbah Tambang Emas Pongkor

Abdul Majid, Abdul Rohman, dan Raiyyan Rahmi Isda

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jenderal Achmad Yani

[cnd\\_majid@yahoo.com](mailto:cnd_majid@yahoo.com), [adl\\_rhman@gmail.com](mailto:adl_rhman@gmail.com), [raiyyan\\_rahmi.isda@gmail.com](mailto:raiyyan_rahmi.isda@gmail.com)

### Abstrak

Hasil limbah dari tambang emas Pongkor yang berupa *tailing* diteliti pemanfaatannya sebagai bahan dasar campuran bata ringan. Variasi perbandingan rasio volume semen dengan *tailing* adalah 1 : 2, 1 : 4, dan 1 : 6 dengan waktu pengerasan 7, 14, 21, dan 28 hari. Parameter pengujian yang dilakukan meliputi densitas (*dry density*), penyerapan air (*water absorption*), kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Pencampuran *tailing* sebagai bahan dasar campuran bata ringan menggunakan metode *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) dengan variasi komposisi yang memenuhi syarat ASTM C 969 yaitu densitas < 700 kg/m<sup>3</sup>, penyerapan air < 25%, dan kuat tekan > 1.4 MPa. Sedangkan untuk kuat tarik belah > 0.25 MPa, yaitu sekitar 10-15% dari kekuatan tekan (Nawy 1998:41) dan kuat lentur > 0,59 MPa (Yothin Ungkoon, 2007). Dari hasil penelitian variasi dengan campuran 1 : 2 (1 semen dan 2 *tailing*) dengan waktu pengeringan selama 28 hari memiliki hasil pengujian terbaik dan memenuhi semua yang disyaratkan. Pada komposisi tersebut, bata ringan yang dihasilkan memiliki densitas 692 kg/m<sup>3</sup>, penyerapan air 20,81%, kuat tekan 3,77 MPa, kuat tarik belah 0,48 MPa, dan kuat lentur 0,65 MPa.

Kata kunci: Bata ringan, *tailing*, densitas, penyerapan air, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur.

### 1. Pendahuluan

Unit Bisnis Penambangan Emas (UBPE) Pongkor dimulai sejak 1992 yang terletak di daerah Pongkor, Desa Bantar Karet, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat. Penambangan dilakukan secara dominan tambang bawah tanah dengan metode *cut and fill*. Permasalahan *tailing* di tambang emas Pongkor terkendala pada pemanfaatan *tailing* yang tidak optimal. Tiap tahunnya dihasilkan *tailing* sekitar 350.000 m<sup>3</sup>, tetapi pemanfaatannya hanya terbatas pada aktivitas *backfilling* saja, sehingga kapasitas *tailing dam* yang kini telah menampung lebih dari 2,1 juta ton *tailing* sudah hampir penuh. Untuk itu, upaya pemanfaatan *tailing* lebih besar dengan komprehensif perlu dilakukan supaya volume *tailing dam* berkurang.

Salah satu pemanfaatan yang dapat dilakukan adalah menggunakan *tailing* tersebut sebagai bahan dasar campuran bata ringan. Terlebih dahulu perlu dilakukan penelitian mengenai seberapa besar rasio volume semen-*tailing* sehingga menghasilkan karakteristik bata ringan yang memenuhi syarat. Karakteristik tersebut berupa densitas (*density*), penyerapan air (*water absorption*), kuat tekan (*compressive strength*), kuat tarik belah (*tensile strength*) dan kuat lentur (*bending strength*). Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi pengetahuan atau pertimbangan dalam pemanfaatan limbah *tailing* tambang emas Pongkor sebagai bahan campuran pembuatan bata ringan. Sebagai catatan, bahan *tailing* ini hanya bisa dimanfaatkan oleh pihak UBPE Pongkor dan rekanan saja, tidak untuk umum.

Berikut ini disampaikan beberapa hal yang menyangkut batasan-batasan dalam penelitian ini.

1. Limbah *tailing* yang digunakan sebagai agregat halus merupakan limbah tambang emas Pongkor yang diambil dari *tailing dam*.
2. Karakteristik bata ringan yang ditinjau; densitas, penyerapan air, kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur.
3. Variasi perbandingan volume semen dengan *tailing* pada campuran bata ringan adalah 1 : 2, 1 : 4, dan 1 : 6.
4. Pembuatan desain benda uji mengikuti peraturan SNI 2493-2011.
5. Metode pengujian kuat tekan mengikuti peraturan SNI 1974-2011.
6. Metode pengujian kuat tarik belah mengikuti SNI 03-2491-2002.
7. Standar pengujian kuat lentur mengikuti SNI 4431-2011.
8. Standar analisa agregat halus dan kasar mengikuti peraturan ASTM C-136-01.
9. Standar bata ringan dengan metode *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) mengikuti ASTM C-869 1999.
10. Pengujian benda uji dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari.
11. Semen yang digunakan adalah semen *Portland* merk Semen Gresik, tipe I, tersedia dalam kemasan 40 kg.
12. *Foam agent* yang digunakan sebagai bahan pembuat busa dengan bantuan *mixer foam* adalah *foaming agent* merk ADT.
13. Bahan aditif yang digunakan adalah Tipe E (*water reducing and accelerating admixtures*), *aditive foam concrete* merk ADT.

#### Info Makalah:

Dikirim : 10-14-2017;  
Revisi 1 : 11-23-17;  
Revisi 2 : 01-30-18;  
Diterima : 07-02-18.

#### Penulis Korespondensi:

Telp : +62-852-6040-3723  
e-mail : [raiyyan.rahmi.isda@gmail.com](mailto:raiyyan.rahmi.isda@gmail.com)

14. Air yang digunakan untuk campuran berasal dari sumur Laboratorium PT. CND Geoteknika.
15. Benda uji bata ringan silinder ukuran  $d = 15 \text{ cm}$ ,  $t = 30 \text{ cm}$  untuk pengujian kuat tekan, tarik belah dan berupa balok ukuran  $10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$  untuk pengujian kuat lentur, sedangkan benda uji untuk densitas dan penyerapan air diambil dari benda uji balok setelah dilakukan pengujian kuat lentur.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian desain bata ringan dari campuran limbah *tailing* sebagai agregat adalah mendapatkan nilai karakteristik bata ringan dengan campuran berbagai campuran dan mendapatkan komposisi yang ideal untuk produksi bata ringan dengan bahan limbah *tailing*. Selain itu, penelitian ini juga bermaksud untuk memanfaatkan limbah *tailing* yang melimpah di dam penampungan tambang emas Pongkor dijadikan sebagai bahan dasar campuran bata ringan. Keunggulan bata ringan utamanya ada pada berat, sehingga apabila digunakan pada proyek bangunan tinggi (*high rise building*) akan dapat secara signifikan mengurangi berat sendiri bangunan menjadi jauh lebih efisien yang selanjutnya berdampak kepada perhitungan pondasi,. Walaupun kuat tekan bata ringan cukup rendah, tapi masih memenuhi syarat sebagai komponen non-struktural.

Pemanfaatan limbah *tailing* sebagai agregat halus dalam pembuatan bata ringan diharapkan dapat memenuhi syarat spesifikasi bata ringan CLC menurut ASTM C 869 yaitu densitas  $< 700 \text{ kg/m}^3$ , kuat tekan  $> 1,4 \text{ MPa}$ , dan penyerapan air  $< 25\%$  berdasarkan volume. Perubahan rasio agregat limbah *tailing*, semen dan penambahan *foam agent* akan memberikan pengaruh untuk meringankan karakteristik bata ringan secara signifikan.

Karakteristik fisik *tailing* yang dihasilkan dari kegiatan penambangan emas Pongkor ditampilkan pada Tabel 1. Terlihat nilai modulus kehalusan butiran dari sampel limbah *tailing* adalah 1,519, berarti kehalusan butiran limbah *tailing* berada di bawah standar ASTM C-136-01, yaitu 3,00. Dengan demikian, penyebaran butirannya kurang baik, sehingga penggunaan limbah *tailing* sebagai substitusi hanya dapat dilakukan sebagian saja. Oleh karenanya perlu diuji berapa besar persentase substitusi limbah yang dapat digunakan di dalam benda uji, agar benda uji tetap memenuhi persyaratan kekuatan dan kelayakan penggunaan.

Tabel 1. Karakteristik Fisik *Tailing*

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisa Sampel
1	<i>Apparent Specific Gravity</i>		1,367
2	<i>Bulk Specific Gravity</i> (kering)		1,153
3	<i>Bulk Specific Gravity (Specific Surface Dry)</i>		1,280
4	Kadar Air	% BB	31,510
5	Berat Volume (Padat)	$\text{kg/m}^3$	112,000
6	Berat Volume (Gembur)	$\text{kg/m}^3$	132,000
7	Absorpsi	%	11,260
8	Modulus Kehalusan		1,519

Sumber : UBPE Pongkor

Keterangan : % BB = % Berat Basah

Berdasarkan data dari UPBE Pongkor, limbah *tailing* mempunyai kandungan  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  di atas 80%. Nilai ini jauh di atas nilai yang disyaratkan untuk bahan pencampur beton, yaitu minimum 50% (ASTM C-618). Dengan demikian limbah *tailing* yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan pencampur beton. Tetapi dalam penelitian ini, selain *tailing* yang digunakan sebagai bahan dasar campuran bata ringan, juga ditambahkan *foam agent* dan juga bahan aditif tipe E berupa *water reducing and accelerating admixtures* yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

Bata ringan dikenal ada 2 (dua) jenis: *Autoclaved Aerated Concrete (AAC)* dan *Cellular Lightweight Concrete (CLC)*. Keduanya didasarkan pada gagasan yang sama yaitu menambahkan gelembung udara ke dalam mortar akan mengurangi berat bata yang dihasilkan secara drastis. Perbedaan bata ringan AAC dengan CLC adalah dari segi proses pengeringan yaitu AAC mengalami pengeringan dalam oven autoklaf bertekanan tinggi sedangkan bata ringan jenis CLC yang mengalami proses pengeringan alami. CLC sering disebut juga sebagai *Non-Autoclaved Aerated Concrete (NAAC)*. Bata ringan CLC merupakan bata ringan yang mengalami proses *curing* secara alami, yang mana agregat kasar (kerikil) diganti dengan gelembung udara, dalam prosesnya menggunakan busa organik yang kurang stabil dan tidak ada reaksi kimia ketika proses pencampuran adonan, *foam*/busa berfungsi hanya sebagai media untuk membungkus udara. Pabrikasi dan peralatan yang digunakan untuk menghasilkan CLC juga standar, sehingga produksi dengan mudah dapat pula diintegrasikan ke dalam pabrikasi beton konvensional. Pemakaian *foam agent* dalam campuran berfungsi untuk memerangkap void pada mortar, sehingga didapat bobot isi kering (*dry density*) antara  $500 \text{ kg/m}^3 - 1600 \text{ kg/m}^3$  (Jitchaiyaphum, Sinsiri, & Chindaprasirt, 2011). Pada pelaksanaan pencampuran busa *foam* setelah dilakukan *trial mix* sebelumnya untuk memperoleh nilai *dry density* yang disyaratkan, direkomendasikan nilai bobot isi basah campuran (*bulk density*)  $< 1100 \text{ kg/m}^3$  (hasil dari uji *trial mix*).

## Pengujian Karakteristik

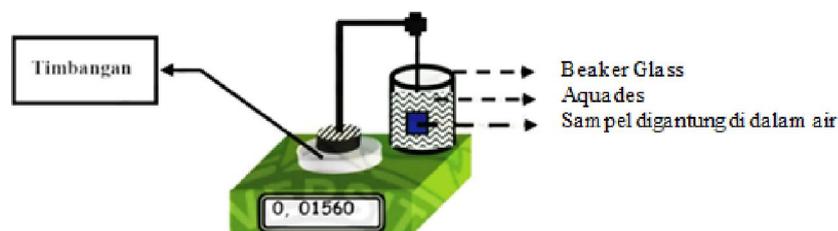
Karakteristik yang diuji ada 5 macam, densitas (*density*), penyerapan air (*water absorption*), kuat tekan (*compressive strength*), kuat tarik belah (*tensile strength*) dan kuat lentur (*bending strength*).

### a. Densitas (*Density*)

Densitas pada material didefinisikan sebagai perbandingan antara massa ( $m$ ) dengan volume ( $v$ ). Setiap zat memiliki densitas yang berbeda, satu zat yang sama berapapun massa dan volumenya, akan memiliki densitas yang sama pula. Oleh sebab itu, dikatakan bahwa massa jenis atau densitas merupakan ciri khas suatu zat. Densitas dinyatakan dalam  $\text{gr}/\text{cm}^3$  dan dilambangkan dengan  $\rho$  (rho). Untuk mengukur densitas bata ringan menggunakan metoda *Archimedes*. Prinsip Archimedes menyatakan bahwa ketika sebuah benda tercelup seluruhnya atau sebagian di dalam zat cair, zat cair akan memberikan gaya ke atas/gaya apung pada benda, di mana besarnya gaya ke atas sama dengan berat zat cair yang dipindahkan. Pengukuran densitas menggunakan neraca digital. Awalnya dilakukan penimbangan massa benda di udara (massa sampel kering) seperti halnya pada penimbangan biasa, sedangkan penimbangan massa benda di dalam air seperti diperlihatkan dalam Gambar 1. Besarnya nilai densitas bata ringan dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut (Sijabat K, 2007).

$$\rho_{pc} = \left( \frac{m_s}{m_b - (m_g - m_k)} \right) \times \rho_{air} \quad (1)$$

dengan  $\rho_{pc}$  = densitas benda uji ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ),  $m_s$  = massa sampel kering (gr),  $m_b$  = massa sampel setelah direndam air (gr),  $m_g$  = massa sampel digantung di dalam air (gr),  $m_k$  = massa air dalam bejana (gr),  $\rho_{air}$  = densitas air ( $1 \text{ gr}/\text{cm}^3$ ).



Gambar 1. Prinsip Penimbangan Massa Benda Di Dalam Air

### b. Penyerapan Air (*Water Absorption*)

Pada saat terbentuknya agregat kemungkinan ada terjadinya udara yang terjebak dalam lapisan agregat atau terjadi karena dekomposisi mineral pembentuk akibat perubahan cuaca, maka terbentuklah lubang atau rongga kecil di dalam butiran agregat (pori). Pori dalam agregat mempunyai variasi yang cukup besar dan menyebar di seluruh tubuh butiran. Pori-pori mungkin menjadi reservoir air bebas di dalam agregat. Persentase berat air yang mampu diserap agregat di dalam air disebut serapan air. Untuk mengetahui besar penyerapan air dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Sijabat K, 2007).

$$WA = \frac{M_j - M_k}{M_k} \times 100\% \quad (2)$$

dengan  $WA$  = *water absorption* (%),  $m_j$  = massa benda dalam kondisi saturasi/jenuh (gr), dan  $m_k$  = massa benda di udara (gr).

### c. Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Alat yang digunakan untuk menguji kuat tekan adalah *Universal Testing Machine* (UTM). Kuat Tekan merupakan suatu parameter yang menunjukkan besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur oleh gaya tekan tertentu. Dapat ditulis dengan persamaan berikut (SNI 1974-2011).

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3)$$

dengan  $f'_c$  adalah kuat tekan beton ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ),  $P$  beban maksimum (N), dan  $A$  adalah luas penampang yang menerima beban ( $\text{mm}^2$ ).

### d. Kuat Tarik Belah (*Tensile Strength*)

Kekuatan tarik belah beton relatif rendah, kira-kira 10-15% dari kekuatan tekannya. Kekuatan tarik lebih sulit diukur dibandingkan dengan kekuatan tekan bila dengan beban-beban aksial langsung dan penjepitan (*gripping*) pada

mesin. Sehingga untuk mengetahui kuat tarik beton dalam pengujian hanya dapat diukur dengan metode uji keruntuhan (*modulus of rupture*) dan metode uji belah silinder (Nawy 1998:41). Kuat tarik belah beton yang diperoleh dengan uji pembelahan silinder dilakukan dengan memberikan beban tekan secara merata di seluruh bagian panjang dari silinder hingga terbelah dua dari ujung ke ujung. Berdasarkan SNI 03-2491-2002 kuat tarik dengan uji belah silinder dapat ditentukan dengan Persamaan (4) berikut

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (4)$$

dengan  $f_{ct}$  merupakan kuat tarik belah ( $N/mm^2$ ),  $P$  = beban pada waktu belah (N),  $L$  = panjang benda uji silinder (mm), dan  $D$  = diameter benda uji silinder (mm).

Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan  $0,05 - 0,6 \sqrt{f'c}$ , sehingga untuk beton normal digunakan  $0,57\sqrt{f'c}$ , (Nawy 1998: 43). Alasan utama dari kuat tarik yang kecil bahwa pada kenyataannya beton dipenuhi retak-retak halus yang tidak dipengaruhi bila beton menerima beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekan, berbeda jika beton menerima beban tarik.

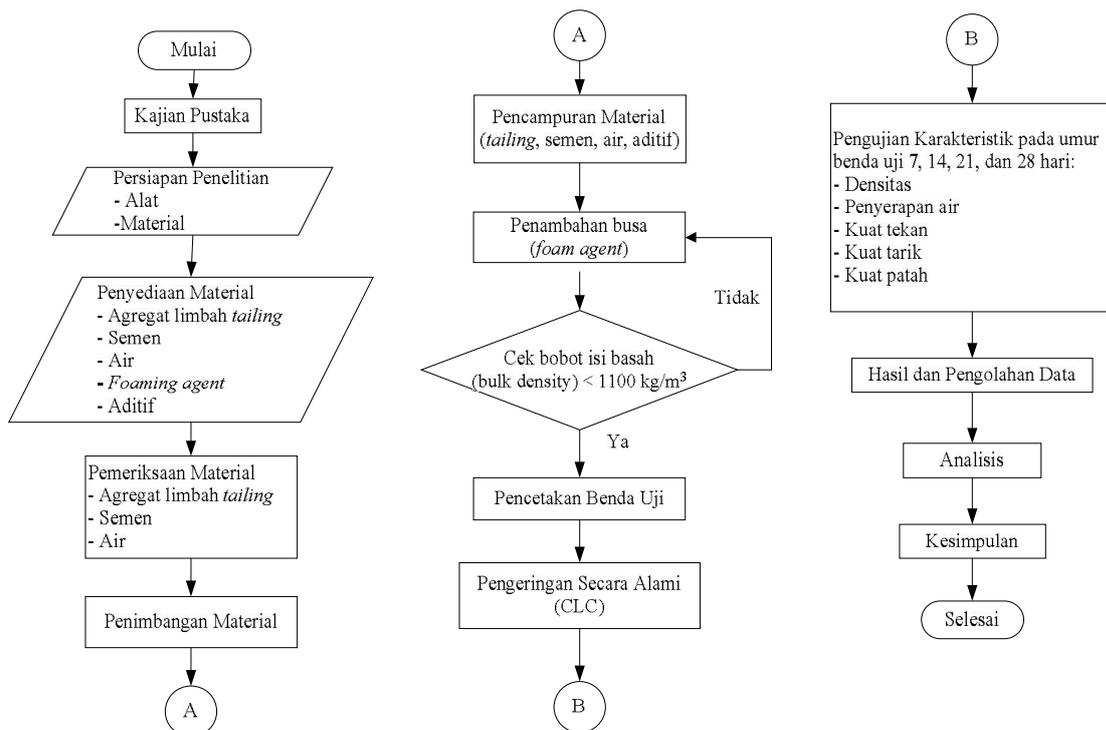
#### e. Kuat Lentur (*Bending Strength*)

Untuk mengetahui besarnya kuat lentur dari bata ringan yang telah dibuat, alat yang digunakan untuk menguji kuat lentur adalah *Universal Testing Machine* (UTM). Pengukuran kuat lentur (*bending strength*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang mengacu pada SNI 4431-2011 dengan prinsip menggunakan 2 (dua) titik pembebanan di mana bidang lentur terletak di daerah pusat (daerah 1/3 jarak titik perletakan bagian tengah) dan kuat lentur dihitung menurut Persamaan (5).

$$\sigma = \frac{PL}{bh^2} \quad (5)$$

dengan  $\sigma$  adalah kuat lentur ( $N/mm^2$ ),  $P$  = beban maksimum yang diberikan (N),  $L$  = jarak kedua titik tumpu (mm),  $b$  = lebar benda uji (mm), dan  $h$  = tinggi benda uji (mm).

## 2. Metode Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Metodologi Penelitian

Skema penelitian yang dilakukan dalam desain bahan dasar campuran bata ringan dari limbah tambang emas Pongkor diperlihatkan dalam bagan alir (Gambar 2). Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen *Portland* merek Semen Gresik Tipe I, agregat limbah *tailing*, air, *foam agent*, dan bahan aditif. Sedangkan alat-alat

yang digunakan adalah *Universal Testing Machine* (UTM) kapasitas 1000 kN, mesin pencampur bahan bata ringan (*mixer/molen*), cetakan berbentuk silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm, cetakan berbentuk balok 10 cm × 20 cm × 40 cm, *foam mixer* pembuat busa, gelas ukur untuk pengecekan *bulk density* campuran bata ringan, oven elektrik, dan timbangan digital.

Dalam penelitian ini ada 2 macam variasi yang digunakan, yaitu variasi komposisi campuran dan variasi waktu pengeringan benda uji.

1. Variasi komposisi semen dengan limbah *tailing* adalah 1:2, 1:4, dan 1:6. Alasan dibuat variasi perbandingan tersebut berdasarkan hasil *trial mix* sebelumnya di mana rentang perbandingan ada di kisaran batas yang tidak memungkinkan ditambahkan lagi variasi ke perbandingan lebih rendah maupun lebih tinggi serta lebih kepekerjaan agregat *tailing* lebih banyak.
2. Variasi waktu pengeringan serta perawatan benda uji bata ringan dengan umur benda uji (SNI 2493-2011): 7, 14, 21 dan 28 hari, dilakukan pada kondisi normal atau alami.

Benda uji dibuat masing-masing variasi campuran dan umur benda uji dibuat sebanyak 3 (tiga) buah benda uji (SNI 2493-2011), hal ini dimungkinkan untuk mengantisipasi bila terjadi kerusakan benda uji dan dapat dijadikan sebagai pembanding dari masing-masing benda uji sehingga bisa diperoleh nilai rata-rata. Jumlah benda uji untuk masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 2. Benda uji untuk pengujian densitas dan penyerapan air diambil dari benda uji balok setelah dilakukan pengujian kuat lentur.

Tabel 2. Jumlah Benda Uji

Variasi Campuran	Umur Benda Uji (Hari)	Jumlah Sampel		
		Silinder (d =15 cm, t = 30 cm)		Balok (10 cm × 20 cm × 40 cm)
		Kuat Tekan	Kuat Tarik	Kuat Lentur
1 : 2	7	3	3	3
	14	3	3	3
	21	3	3	3
	28	3	3	3
1 : 4	7	3	3	3
	14	3	3	3
	21	3	3	3
	28	3	3	3
1 : 6	7	3	3	3
	14	3	3	3
	21	3	3	3
	28	3	3	3
Jumlah		36	36	36
Total Keseluruhan		72		36

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berikut dibahas hasil dari pengujian karakteristik terhadap benda uji.

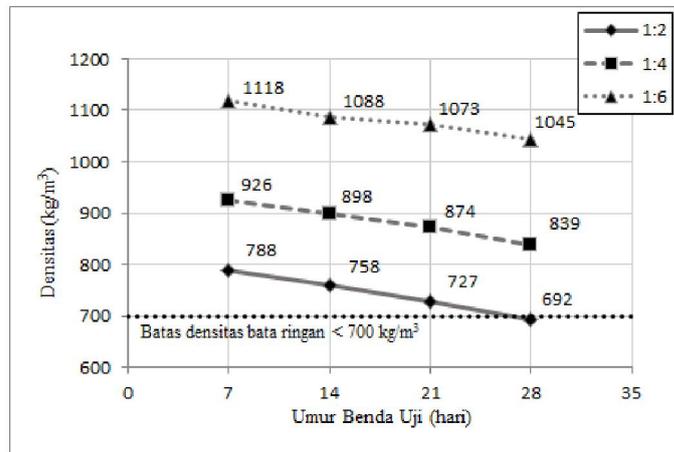
#### a. Densitas (*Density*)

Dari keseluruhan variasi campuran dan umur benda uji, perhitungan densitas rata-rata adalah berkisar antara 692 - 1045 kg/m<sup>3</sup> seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Apabila dilihat dari nilai densitas yang dihasilkan, jenis bata ringan ini beton non-struktural. Nilai densitas yang diperoleh untuk semua variasi campuran turun seiring bertambahnya umur benda uji. Dilihat dari nilai densitas yang diperoleh, campuran 1 : 6 dan 1 : 4 belum memenuhi syarat *dry density* < 700 kg/m<sup>3</sup> (ASTM C 869). Sedangkan pada variasi campuran 1 : 2, densitas yang diperoleh adalah 692 – 788 kg/m<sup>3</sup>, pada umur benda uji 28 hari sudah memenuhi syarat *dry density* < 700 kg/m<sup>3</sup> (ASTM C 869).

Dari Gambar 3 terlihat hubungan densitas dengan umur benda uji yaitu semakin lama waktu pengeringan, bobot isi bata ringan semakin rendah, karena selama proses pengeringan telah terjadi proses penyusutan (*shrinkage*) yang disertai dengan pelepasan air (*hidratasi*) yang terikat secara alami (perlahan-lahan). Proses kebalikan yang juga bisa dilakukan dalam proses fabrikasi dalam dunia industri adalah dengan cara pelepasan paksa dalam waktu yang relatif singkat (orde jam) yang dikenal dengan proses *autoclave*. Peristiwa pelepasan air yang terikat biasanya dapat melalui rongga-rongga yang ada pada bata ringan menuju kepermukaan, dan bata ringan tersebut secara bertahap terhidrasi, sehingga terjadi ikatan yang lebih stabil.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Densitas Rata-rata

Variasi Campuran	Densitas Rata-Rata (kg/m <sup>3</sup> )			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
1 : 2	788	758	727	692
1 : 4	926	898	874	839
1 : 6	1118	1088	1073	1045



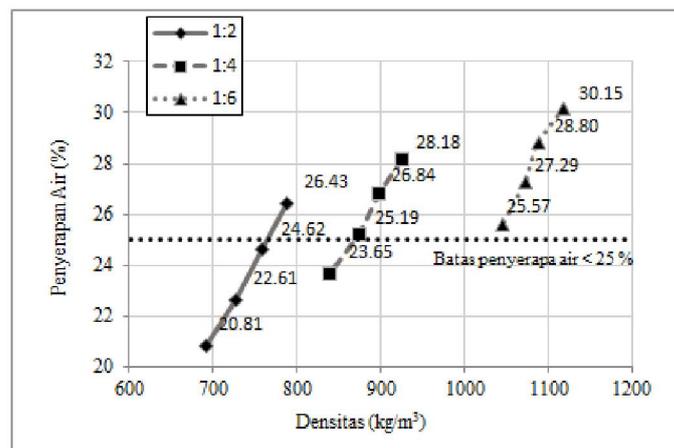
Gambar 3. Grafik Hubungan Densitas Dengan Umur Benda Uji

b. Penyerapan Air (*Water Absorption*)

Dalam Tabel 4, terlihat nilai rata-rata penyerapan air dari keseluruhan benda uji bata ringan diperoleh berkisar antara 20,81 – 30,15 %. Batas maksimal penyerapan air untuk bata ringan disyaratkan < 25 % berdasarkan volume (ASTM C 869). Gambar 4 menunjukkan bahwa bata ringan berpori, sehingga gelembung-gelembung udara yang terperangkap di dalam bata menjadikan bata lebih ringan (Wijoseno, 2008). Hasil perhitungan yang diperoleh menunjukkan adanya pola teratur yang menyatakan dengan adanya perbedaan perbandingan variasi campuran dan waktu pengeringan atau umur benda uji, yang cenderung menurunkan nilai penyerapan air pada bata ringan tersebut. Besar komposisi *tailing* pada campuran akan menaikkan nilai *water absorption*, karena semakin banyak pori-pori yang terdapat pada bata ringan dan semen kurang mengikat *tailing* dalam jumlah banyak, bila dibandingkan dengan volume *tailing* lebih kecil pori pori pada bata ringan lebih sedikit dan semen lebih mengikat sehingga penyerapan air jadi lebih sedikit.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Penyerapan Air Rata-rata

Variasi Campuran	Penyerapan Air Rata-Rata (%)			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
1 : 2	26,43	24,62	22,61	20,81
1 : 4	28,18	26,84	25,19	23,65
1 : 6	30,15	28,80	27,29	25,57



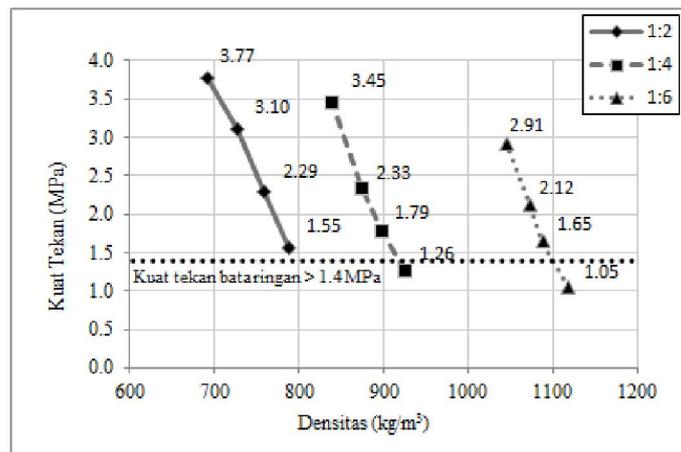
Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Penyerapan Air Dengan Densitas

c. Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Dalam Tabel 5 terlihat kuat tekan rata-rata dari semua benda uji bata ringan dengan variasi campuran serta umur benda uji adalah berkisar antara 1,05 – 3,77 MPa. Dilihat dari Gambar 5, benda uji dominan memenuhi syarat (ASTM C 869) yaitu kuat tekan > 1,4 MPa sedangkan untuk umur benda uji 7 hari variasi 1 : 4 dan 1 : 6 ada di bawah batas kuat tekan yang disyaratkan. Dari hasil perhitungan diperoleh hubungan yang menunjukkan nilai kuat tekan pada bata ringan berbahan dasar *tailing* berdasarkan variasi campuran serta umur benda uji di mana nilai densitas semakin rendah (bobot isi semakin ringan) diperoleh nilai kuat tekan semakin tinggi karena faktor komposisi semen yang bisa mengikat agregat *tailing* lebih kuat. Sebaliknya, nilai densitas semakin tinggi (bobot isi semakin berat) diperoleh kuat tekan semakin rendah karena semakin besar perbandingan *tailing* pada campuran tersebut, karena sifat karakteristik fisik *tailing* yang mempunyai kehalusan butiran 1,519 di bawah standar ASTM C-136 yaitu 3,00 berarti penyebaran butirannya kurang baik yang berpengaruh terhadap kekuatan bata ringan.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Kuat Tekan Rata-rata

Variasi Campuran	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
1 : 2	1,55	2,29	3,10	3,77
1 : 4	1,26	1,79	2,33	3,45
1 : 6	1,05	1,65	2,12	2,91

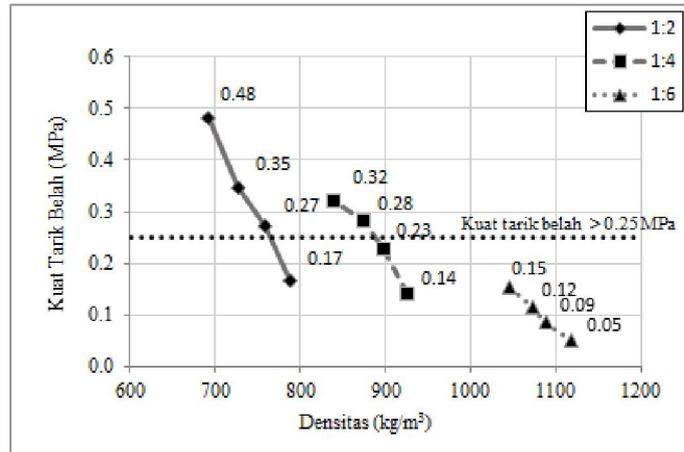


Gambar 5. Grafik Kuat Tarik Belah (*Tensile Strength*)

Dalam Tabel 6 terlihat kuat tarik belah rata-rata dari semua benda uji bata ringan dengan variasi campuran serta umur benda uji keseluruhan apabila diamati dari nilai pengujian yang diperoleh berkisar antara 0,05 – 0,48 MPa. Penambahan variasi campuran cenderung menurunkan kuat tarik belah bata ringan karena karakteristik fisik *tailing* yang memiliki tingkat kehalusan butiran 1,519 di bawah standar ASTM C-136 yaitu 3,00 sehingga penyebaran butirannya kurang baik yang berpengaruh terhadap kekuatan bata ringan. Perbandingan campuran *tailing* lebih sedikit kuat tarik belah cenderung meningkat karena semen lebih mudah mengikat *tailing* dalam jumlah yang ideal sehingga bata ringan semakin kuat., sebagaimana dalam Gambar 6 terlihat batasan kuat tarik belah minimal adalah sebesar 0,25 MPa.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Kuat Tarik Belah Rata-rata

Variasi Campuran	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
1 : 2	0,17	0,27	0,35	0,48
1 : 4	0,14	0,23	0,28	0,32
1 : 6	0,05	0,09	0,12	0,15



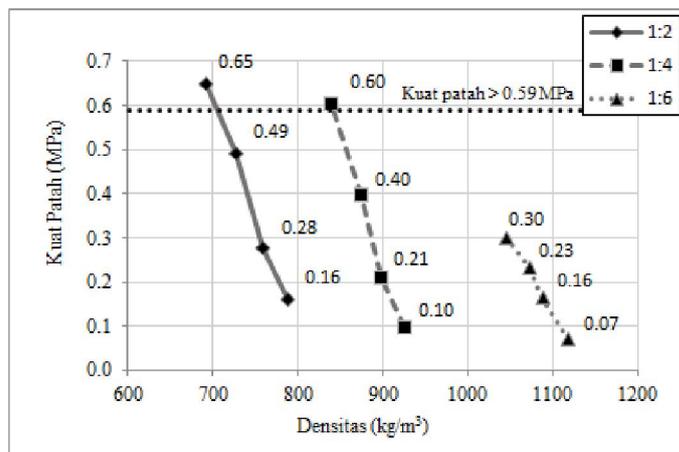
Gambar 6. Grafik Hubungan Kuat Tekan Dengan Densitas

d. Kuat Lentur (*Bending Strength*)

Dalam Tabel 7, terlihat kuat lentur rata-rata yang diperoleh dari semua benda uji bata ringan dengan variasi campuran serta umur benda uji keseluruhan nilai kuat lentur berkisar antara 0,07 – 0,65 MPa. Pengujian kuat lentur dihubungkan dengan densitas diperlihatkan dalam Gambar 7. Terlihat bahwa penambahan nilai densitas cenderung menurunkan kuat lentur bata ringan tersebut, karena dengan bertambahnya nilai densitas berbarengan dengan penambahan umur bata ringan dipengaruhi faktor semen kurang mengikat *tailing* dalam jumlah banyak dimana sifat karakteristik fisik *tailing* butirannya terlalu halus yang dapat berpengaruh terhadap kekuatan bata ringan. Menurut literatur (Yothin Ungkoon, 2007), kuat lentur dari bata ringan berpori yang dikeringkan secara alami adalah dibutuhkan nilai kuat lentur minimal 0,59 MPa. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh terlihat batas minimal nilai kuat lentur yang disyaratkan, umur benda uji 28 hari variasi campuran 1 : 4 dan 1 : 2 memenuhi kuat lentur yang disyaratkan.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Kuat Lentur Rata-rata

Variasi Campuran	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)			
	7 hari	14 hari	21 hari	28 hari
1 : 2	0,16	0,28	0,49	0,65
1 : 4	0,10	0,21	0,40	0,60
1 : 6	0,07	0,16	0,23	0,30



Gambar 7. Grafik Hubungan Kuat Tekan Dengan Densitas

## Resume Hasil Pengujian Karakteristik Bata Ringan

Dari seluruh pengujian karakteristik bata ringan yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat dibuat resume dengan hasil sebagaimana tertera pada Tabel 8.

Tabel 8. Resume Hasil Pengujian Karakteristik Bata Ringan

Variasi Campuran	Pengujian Karakteristik Bata Ringan Rata-Rata																			
	Densitas (densitas < 700 kg/m <sup>3</sup> )				Penyerapan Air (penyerapan air < 25 %)				Kuat Tekan (kuat tekan > 1,4 MPa)				Kuat Tarik Belah (kuat tarik belah > 0,25 MPa)				Kuat Patah (kuat patah > 0,59 MPa)			
	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28
	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari	hari
1:2	788	758	727	692	26,43	24,62	22,61	20,81	1,55	2,29	3,10	3,77	0,17	0,27	0,35	0,48	0,16	0,28	0,49	0,65
	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	x	x	✓	✓
1:4	926	898	874	839	28,18	26,84	25,19	23,65	1,26	1,79	2,33	3,45	0,14	0,23	0,28	0,32	0,10	0,21	0,40	0,60
	x	x	x	x	x	x	x	✓	x	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	x	x	x	✓
1:6	1118	1088	1073	1045	30,15	28,80	27,29	25,57	1,05	1,65	2,12	2,91	0,05	0,09	0,12	0,15	0,07	0,16	0,23	0,30
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	x	x	x

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Karakteristik bata ringan yang dihasilkan dari proses pengerasan selama 28 hari, dari semua variasi campuran, hanya variasi campuran 1 : 2 yang memenuhi syarat. Diperoleh nilai densitas 692 kg/m<sup>3</sup> < 700 kg/m<sup>3</sup>, penyerapan air 20,81% < 25%, kuat tekan 3,77 MPa > 1,4 MPa, kuat tarik belah 0,48 Mpa > 0,25 MPa, dan kuat lentur 0,65 Mpa > 0,59 MPa.
- Nilai setiap pengujian dipengaruhi oleh nilai perbandingan variasi campuran bata ringan. Semakin besar volume perbandingan campuran *tailing* maka semakin rendah nilai yang diperoleh setiap pengujian karena sifat karakteristik fisik *tailing* yang mempunyai kehalusan butiran 1,519 di bawah standar ASTM C-136 yaitu 3,00 berarti penyebaran butirannya kurang baik yang berpengaruh terhadap kekuatan bata ringan, sedangkan untuk umur benda uji semakin bertambah maka nilai yang ditargetkan dapat diperoleh sesuai yang disyaratkan.
- Hubungan densitas dengan kuat tekan pada bata ringan berbahan dasar *tailing* jika dilihat kaitannya dengan umur benda uji, semakin bertambahnya umur benda uji, nilai densitas semakin rendah, tetapi nilai kuat tekan semakin tinggi. Hal ini berlaku untuk ketiga variasi campuran 1:2, 1:4, dan 1:6.
- Pada pembuatan bata ringan, semakin banyak pemberian *foam* pada campuran semen dan *tailing* yang ditambahkan dengan air akan menghasilkan densitas, kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur yang semakin rendah. Perbandingan volume *foam* yang digunakan untuk mencapai nilai densitas yang disyaratkan harus memiliki nilai *bulk density* < 1100 kg/m<sup>3</sup> pada saat proses pencampuran.
- Kelemahan bata ringan dari bahan *tailing* adalah bahwa bahan bakunya hanya bisa dimanfaatkan oleh pihak UBPE Pongkor dan rekanan saja. Berhubung *tailing* didapat dari proses kimia tambang emas (*mercury*) maka perlu penelitian lebih lanjut dari segi kandungan kimia berbahaya.

## Ucapan Terima Kasih

Dengan tersusunnya penelitian ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Laboratorium PT. CND Geoteknika yang telah memberikan dukungan finansial sekaligus menjadi tempat dilaksanakannya penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala pengolahan limbah *tailing* emas Pongkor (UBPE Pongkor) atas kerja samanya.

## Daftar Notasi

### Unsur Kimia

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminium Oksida
CaO	Kapur Oxide
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dikrom Trioksida
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ferioksida
K <sub>2</sub> O	Kalium Oksida
MgO	Magnesium Oxide
MnO	Magan (II) Oksida
Na <sub>2</sub> O	Natrium Oksida
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fosfor pentoksida
SiO <sub>2</sub>	Silicon Dioksida

### Lambang

m <sub>s</sub>	Massa sampel kering (gr)
m <sub>b</sub>	Massa sampel setelah direndam air (gr)
m <sub>g</sub>	Massa sampel digantung di dalam air (gr)
m <sub>k</sub>	Massa air dalam bejana (gr)
ρ <sub>pc</sub>	Densitas benda uji (gr/cm <sup>3</sup> )
ρ <sub>air</sub>	Densitas benda uji (gr/cm <sup>3</sup> )
WA	<i>Water Absorption</i> (penyerapan air) (%)
M <sub>k</sub>	Massa benda di udara (gr)
M <sub>j</sub>	Massa benda dalam kondisi saturasi/ jenuh (gr)
f' <sub>c</sub>	Kuat tekan beton (N/mm <sup>2</sup> )

SO <sub>3</sub>	Sulfur Trioksida	P	Beban maksimum (N)
TiO <sub>2</sub>	Titanium Dioksida	A	Luas penampang yang menerima beban (mm <sup>2</sup> )
LOI	Loss Of Ignition	<i>f<sub>ct</sub></i>	Kuat tarik belah beton (N/mm <sup>2</sup> )
pH	Asam dan Basa	L	Panjang benda uji silinder (mm)
		D	Diameter benda uji silinder (mm)
		b	Lebar benda uji (mm)
		h	Tinggi benda uji (mm)

### Daftar Pustaka

- ASTM C 136-01. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ASTM C 618-01. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete.
- ASTM C 869-91, (1991). Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete.
- Departemen Pekerjaan Umum, (2002). *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton SNI 03-2491-2002*, Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum, (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder SNI 1974-2011*, Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum, (2011). *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium SNI 2493-2011*, Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum, (2011). *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan SNI 4431-2011*, Badan Standarisasi Nasional.
- Nawy, Edward G. (1998). *Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar)*, Penerbit PT. Rafika Aditama, Bandung.
- Sijabat K. (2007). *Pembuatan Keramik Paduan Cordicrit Sebagai Bahan Refraktori dan Karakteristiknya*. Tesis, USU Medan.
- Wijoseno. (2008). *Beton Ringan*. Retrieved April 4, 2009, from <http://wijoseno.wordpress.com/2008/09/22/beton-ringan/>.
- Yothin, U. (2007). Chardchart Sittipunt, Pichai Namprakai, Wanvisa Jettipattaranat, Kyo-Seon Kim, and Tawatchai Charinpanitku, *Analysis of Microstructure and Properties of Autoclaved Aerated Concrete Wall Constructure Materials*. J. Ind. Eng. Chem., Vol. 13, No. 7, 1103-1108.