

## Kaji Awal Proses Pembuatan Beton Aerasi Tanpa Pengukusan (Non-Autoclaved Aerated Concrete, NAAC)

Sri Harjanto<sup>1</sup>, Raffles P. Gultom, Bambang Suharno dan Henki W. Ashadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Indonesia

email: harjanto@metal.ui.ac.id

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian awal pembuatan beton aerasi (beton seluler) tanpa pematangan dalam autoclave (non-autoclaved aerated concrete, NAAC) dengan penambahan aluminium sebagai senyawa pengaerasi. Beton NAAC berhasil dibuat dengan penambahan aluminium sebanyak 1,5 dan 2,25% berat dengan pematangan di udara terbuka selama 28 hari. Berat jenis beton NAAC yang dihasilkan adalah sebesar 1020 dan 1130 kg/m<sup>3</sup>. Berat jenis tersebut berada dalam rentang berat jenis beton ringan sebesar 640 – 1600 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan kuat tekan beton NAAC masing-masing adalah 2,35 dan 2,74 MPa.

**Kata kunci:** Beton busa, beton ringan, material seluler, pasta aluminium dan NAAC

### Abstract

Non autoclaved aerated concrete (NAAC) had been developed by using aluminium paste as an aerated agent. Aluminium powder as much as 1.5% and 2.25% mass was added into the mixture, before it was cured in room temperature for 28 days. NAAC was successfully produced with this method with the density of 1020 and 1130 kg/m<sup>3</sup> and the compressive strength of 2.35 and 2.74 Mpa, respectively.

**Keywords:** Concrete foam, light concrete, cellular materials, aluminium paste and NAAC

### 1. Pendahuluan

Beton aerasi (aerated concrete) diklasifikasikan sebagai beton ringan atau beton berpori dan dikategorikan sebagai salah satu material seluler. Beton ini dibuat dengan menggunakan campuran bahan umumnya untuk pembuatan beton, yaitu pasir, semen dan air dengan penambahan senyawa aerasi untuk menghasilkan pori. Jenis beton ini dikembangkan karena sifatnya yang ringan, sehingga sangat ekonomis dalam desain struktur maupun dinding bangunan [1]-[3]. Keunggulan lainnya adalah kemampuan beton ini sebagai insulasi panas yang sangat baik. Salah satu pengembangan yang sangat prospektif dari beton aerasi atau beton busa ini adalah pembuatannya yang memanfaatkan material yang berasal dari limbah seperti abu terbang [4].

Beton aerasi dapat dikelompokkan berdasarkan beberapa hal, seperti metode pembentukan pori, jenis pengikat atau metode pematangan (curing) [3]. Pada beton aerasi, metode pembentukan pori bisa dilakukan dengan metode peniupan gas akibat reaksi kimia tertentu. Senyawa penghasil gas dicampurkan ke dalam campuran pasir, semen dan air pada proses pengadukan. Reaksi kimia yang terjadi tersebut menghasilkan gas dan peningkatan volume beton. Ketika campuran mulai membeku, rongga-rongga yang ditinggalkan gas itu membentuk struktur pori dalam beton. Beberapa senyawa atau unsur yang dapat ditambahkan sebagai agen pengaerasi antara lain aluminium serbuk, kalsium karbida dan hidrogen peroksida. Jenis pengikat dalam beton juga membedakan jenis beton aerasi, seperti penggunaan semen portland atau

material pozolanik lain, semisal abu bahan bakar atau abu terbang. Selain itu, proses pematangan beton juga membedakan jenis beton aerasi yang dihasilkan, apakah menggunakan *autoclave* atau tanpa *autoclave*. Jenis yang pertama, beton aerasi dimatangkan dalam tungku berisi uap air panas (steam) bertekanan dengan temperatur sekitar 200°C. Produknya disebut *autoclaved aerated concrete* (AAC), sebaliknya dikenal sebagai *non autoclaved aerated concrete* (NAAC) atau beton aerasi yang dimatangkan tanpa *autoclave*.

Makin tingginya biaya energi belakangan ini, berpengaruh terhadap biaya produksi beton yang dimatangkan dalam *autoclave* (AAC). Beton aerasi dengan pematangan tanpa *autoclave* menjadi pilihan dengan pertimbangan efisiensi energi. Dengan latar belakang itu, penelitian ini dilakukan sebagai sebuah kajian awal produksi beton aerasi yang dimatangkan tanpa *autoclave*. Jenis beton aerasi yang dibuat adalah beton aerasi dengan peniupan gas. Senyawa yang ditambahkan adalah serbuk logam aluminium. Sifat fisika dan mekanika beton aerasi yang dihasilkan akan dibandingkan dan dievaluasi. Akan didiskusikan pula kaitan sifat-sifat tersebut dengan struktur mikro yang dihasilkan.

## 2. Metode eksperimental

### 2.1. Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan untuk pembuatan beton aerasi tanpa pemasakan dalam *autoclave* terdiri dari pasir sungai yang telah diayak, kapur (CaO), semen portland, dan air sebagai bahan utama pembuat beton. Serbuk logam aluminium dalam bentuk pasta digunakan sebagai senyawa pengaerasi dalam percobaan ini. Beton aerasi AAC yang ada di pasaran digunakan sebagai pembanding produk beton NAAC yang dibuat dalam eksperimen ini.

Campuran antara semen dan pasir dibuat dengan perbandingan berat 1:3. Sedangkan, perbandingan jumlah kapur yang ditambahkan dalam campuran beton memiliki perbandingan kapur dan semen sebesar 0,25. Sebagai senyawa pengaerasi,

pasta aluminium ditambahkan sebanyak 1.5-2.25 % dari campuran beton.

### 2.2. Prosedur

Pengujian pendahuluan untuk memeriksa ukuran partikel pasir, semen dan kapur dilakukan dengan menggunakan ayakan. Selanjutnya bahan-bahan tersebut diperiksa komposisi senyawanya menggunakan X-ray diffractometer (XRD, Philips Instruments).

Proses pembuatan beton aerasi dilakukan dengan mencampur bahan-bahan di atas dengan memvariasikan kandungan senyawa pengaerasinya. Pasir sungai dicampurkan dengan semen portland dan kapur terlebih dahulu dan diaduk hingga merata. Selanjutnya agen pengaerasi pasta aluminium ditambahkan pada campuran kering tersebut. Air ditambahkan dalam jumlah tertentu hingga terjadi reaksi di antara bahan-bahan pencampur beton. Setelah senyawa pengaerasi dicampurkan, pengadukan dilakukan kembali hingga campuran benar-benar homogen dan berbentuk pasta (*slurry*). Campuran ini selanjutnya dicetak dalam cetakan logam berukuran 50 x 50 x 50 mm. Proses pematangan (*curing*) dilakukan dalam udara terbuka dalam temperatur kamar (20-30°C) selama 28 hari, agar reaksi hidrasi dalam campuran beton terjadi dengan sempurna. Setelah waktu pematangan selesai, pengujian sifat fisika (densitas) dan mekanika (kekuatan tekan) dilaksanakan pada beton aerasi tersebut. Pengamatan struktur mikro dan komposisi mikro dilakukan dengan menggunakan scanning electron microscope (SEM) dan electron dispersive x-ray spectroscopy (EDX).

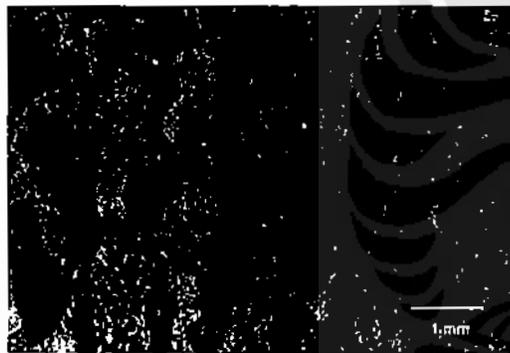
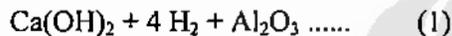
## 3. Hasil dan Pembahasan

Konfirmasi awal menggunakan XRD pada pasir sungai menunjukkan bahwa SiO<sub>2</sub> merupakan senyawa dominan. Pada semen portland yang digunakan terkandung senyawa CaO.Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O dan 2CaSiO<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O. Sementara itu batu kapur yang diuji mengandung CaO.H<sub>2</sub>O. Ukuran partikel rata-rata pasir, semen dan kapur berturut-turut adalah 170 µm, 106 µm, dan 63µm.

### 3.1. Porositas

Morfologi penampang beton yang dibuat dengan penambahan senyawa pengaerasi pasta aluminium setelah pematangan (curing) selama 28 hari, diperlihatkan pada Gambar 1. Gambar itu memperlihatkan adanya porositas yang tersebar merata di seluruh permukaan penampang beton. Pengamatan struktur mikro dan makro yang diamati dengan mikroskop optik menunjukkan variasi ukuran pori dari 10 mm sampai 1 mm. Sebaran pori yang berukuran besar maupun kecil cenderung merata di penampang beton ini.

Porositas yang membentuk struktur busa pada beton ini dihasilkan dari reaksi berikut.  
 $\text{CaO} + 4 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{Al} \rightarrow$



Gambar 1.

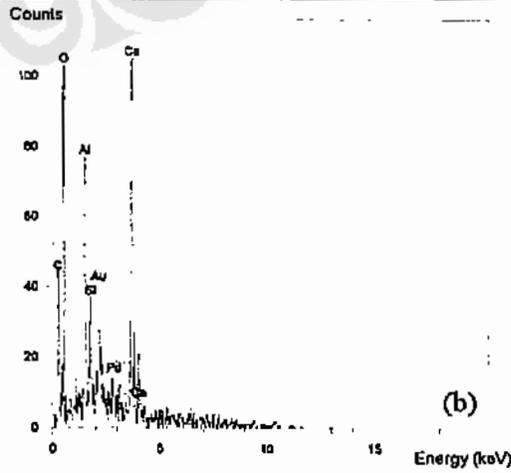
Struktur Penampang Beton Aerasi dengan Penambahan Pasta Aluminium.

Dalam hal ini gas hidrogen yang diproduksi dari reaksi antara logam aluminium dengan kapur yang membentuk pori dalam beton. Hasil pengamatan struktur makro teramati pula adanya sisa-sisa logam aluminium serbuk yang tidak bereaksi (tidak terlihat pada Gambar 1).

Pengamatan struktur mikro dan pemeriksaan komposisi unsur yang dilakukan dengan SEM/EDX memperkuat bukti terjadinya reaksi di atas. Gbr. 2 memperlihatkan keberadaan porositas mikro pada beton aerasi NAAC dengan penambahan aluminium 1.5%. Tanda positif (+) pada Gambar 2 (a) menunjukkan titik pada beton aerasi yang diperiksa komposisi

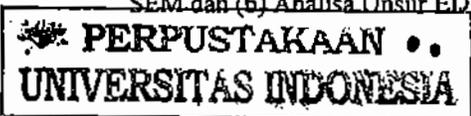
unsurnya yang ditandai dengan puncak (peak) grafik EDX (Gbr. 2(b)). Pada titik tersebut secara kualitatif teramati adanya unsur Ca, Al, Si, O, Au, Pd dan C. Emas (Au) dan paladium (Pd) pada beton ringan berasal dari pelapis (coating) yang digunakan untuk pengujian SEM. Karbon (C) diperkirakan berasal dari pengotor yang terdeteksi pada EDX. Unsur lainnya yaitu kalsium (Ca), aluminium (Al), oksigen (O) dan silikon (Si) merupakan unsur-unsur yang digunakan dan ada pada bahan baku beton aerasi ini.

Gambar 3 memperlihatkan struktur mikro dan analisa unsur pada beton aerasi AAC yang ada di pasaran. Secara umum profil struktur mikro tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan. Porositas yang terdapat dalam AAC ini bisa dibedakan antara pori mikro dan makro, sebagaimana yang terdapat pada NAAC.

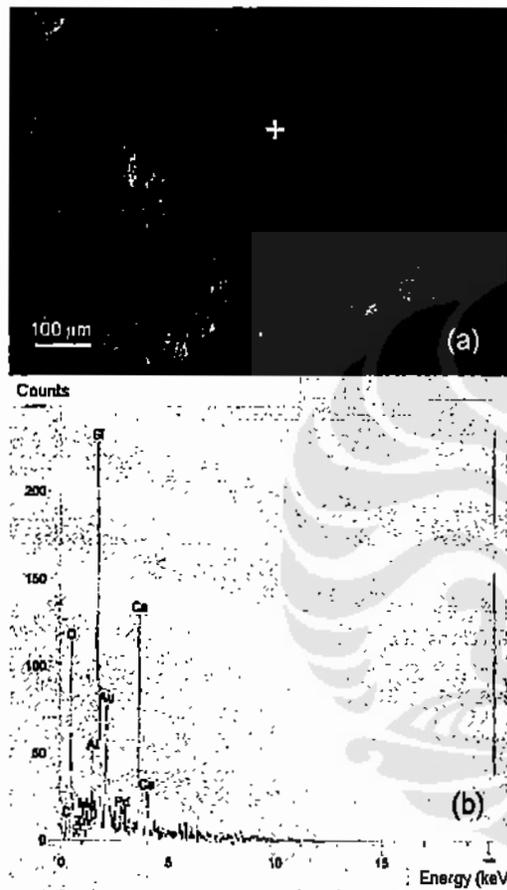


Gambar 2.

Struktur Mikro Beton Aerasi Tanpa Pengukusan (NAAC) dan Hasil Pemeriksaan Komposisi Unsur Pada Titik dengan Tanda (+), (a) Foto SEM dan (b) Analisa Unsur EDX.



Dari hasil analisa EDX diamati keberadaan unsur Zn dan Mg yang tidak digunakan pada NAAC. Penggunaan Zn diperkirakan sebagai senyawa pengerasi selain Al. Sedangkan adanya logam Mg belum diketahui fungsinya, mengingat bukan logam yang umum digunakan sebagai senyawa pengerasi.

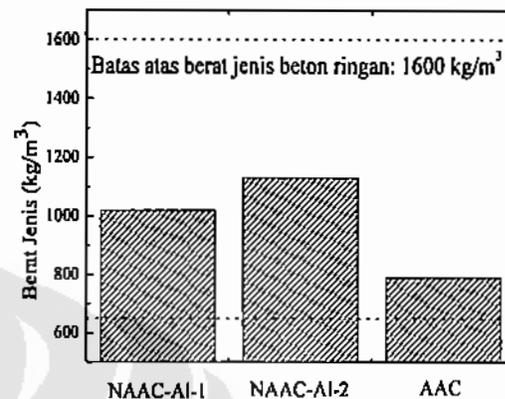


**Gambar 3.**  
Struktur Mikro Beton Aerasi (AAC) dan Hasil Pemeriksaan Komposisi Unsur pada Titik (+), (a) Foto SEM dan (b) Analisa Unsur EDX.

### 3.1. Berat Jenis

Berat jenis beton ringan dikarakterisasikan pada rentang 640 – 1600 kg/m<sup>3</sup> [5] atau 300 – 1800 kg/m<sup>3</sup> [6]. Hasil pengukuran berat jenis pada beton ringan dengan penambahan senyawa pengerasi aluminium ini masuk dalam rentang tersebut. Gambar 3 memperlihatkan perbandingan berat jenis antara beton ringan tanpa pengukusan dalam autoclave (non-autoclaved aerated concrete, NAAC) dengan produk

beton ringan hasil pengukusan dalam autoclave (autoclave aerated concrete, AAC) yang ada di pasaran. NAAC-AI-1 dan NAAC-AI-2 adalah beton aerasi tanpa pengukusan dalam autoclave dengan penambahan aluminium masing-masing 1,5% dan 2,25% berat.



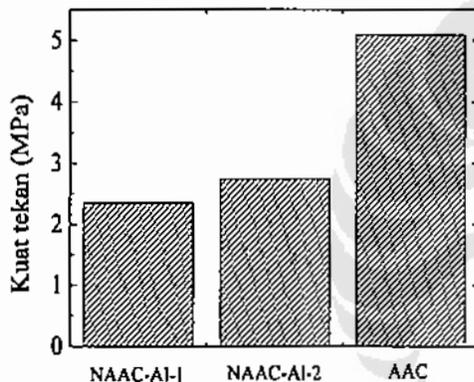
**Gambar 4.**  
Perbandingan Berat Jenis Antara Beton Aerasi Tanpa Pengukusan Dalam Autoclave (NAAC) dan Dengan Pengukusan Dalam Autoclave (AAC).

### 3.3. Kuat Tekan

Kuat tekan beton aerasi, baik NAAC maupun AAC diperlihatkan pada Gambar 5, dengan nilai masing-masing adalah NAAC-AI-1 = 2,35 Mpa, NAAC-AI-2 = 2,74 Mpa dan AAC = 5,09 Mpa. Meskipun berat jenis beton aerasi AAC lebih ringan, akan tetapi kekuatannya masih lebih besar jika dibandingkan dengan NAAC. Kondisi ini tidak mungkin dijelaskan dengan membandingkan keberadaan porositas kedua jenis beton. Seolah ada kontradiksi antara hasil pengujian berat jenis (Gambar 4) dengan kekuatan tekan. Jika porositas adalah satu-satunya penentu dalam struktur beton aerasi maka ketika beton tersebut memiliki berat jenis rendah maka kekuatan tekannya pun harus rendah. Hal ini mendorong dugaan bahwa porositas bukanlah satu-satunya penyebab yang bertanggung jawab terhadap kekuatan tekan beton aerasi. Porositas memang bisa menjelaskan berat jenis beton aerasi tapi tidak demikian dengan kekuatan tekan. Satu hal yang mungkin menjelaskan adalah tingkat kematangan beton dengan

terbentuknya fasa-fasa hasil reaksi hidrasi ketika proses pematangan (curing) [7]. Detil pengamatan fasa-fasa yang terbentuk akan dilaporkan pada publikasi lainnya.

Gambar 5 tersebut juga menunjukkan bahwa kuat tekan NAAC-AI-1 masih lebih rendah dibanding NAAC-AI-2. Teramatinya aluminium sisa pada NAAC-AI-2 bisa diperkirakan menjadi penyebab relatif tingginya kuat tekan beton tersebut. Dalam hal ini partikel-partikel aluminium yang tidak bereaksi itu bisa berfungsi sebagai penguat dalam struktur beton aerasi. Namun demikian, fenomena ini masih perlu diungkap dengan beberapa pengujian lanjutan.



**Gambar 5.**  
Perbandingan Kuat Tekan Beton Aerasi NAAC dan AAC.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian awal tentang proses pembuatan beton aerasi tanpa pematangan dalam autoclave dapat disimpulkan bahwa beton ringan tanpa pematangan dalam autoclave dengan penambahan senyawa pengaerasi aluminium telah berhasil diproduksi dengan berat jenis 1020 dan 1130 kg/m<sup>3</sup>. sedangkan kekuatan tekan yang dihasilkan dari beton ini adalah 2,35 dan 2,74 MPa.

Jika dibandingkan dengan beton aerasi dengan pematangan dalam autoclave di pasaran (AAC), berat jenisnya masih lebih besar sedangkan kekuatannya masih lebih rendah. Diperlukan penelitian lanjut

untuk memperjelas fenomena yang terjadi dalam pembuatan beton aerasi ini.

#### Daftar Acuan

- [1]. R.C. Valore, Cellular concrete-composition and methods of preparation, *J. Am. Concr. Inst.*, 25 (1954) 773-795.
- [2]. R.C. Valore, Cellular concrete-physical properties, *J. Am. Concr. Inst.*, 25 (1954) 817-836.
- [3]. N. Narayanan and K. Ramamurthy, Structure and Properties of Aeraed Concrete: A Review, *Cement & Concrete Composite* 22 (2000) 321-329.
- [4]. R. M. Dilmore and R. D. Neufeld, Autoclaved aerated concrete produced with low NO<sub>x</sub> burner/selective catalytic reduction fly ash, *J. of Energy Engrg.* 8 (2001) 37-50.
- [5]. M.S.J Gani, *Cement and Concrete*, Chapman and Hall Publ., London, 1997, pp. 85.
- [6]. N. Narayanan and K. Ramamurthy, Microstructural investigations on aerated concrete, *Cement & Concrete Composite*, 30 (2000) 457-464.
- [7]. J. Alexanderson, Relation between structure and mechanical properties of autoclaved aerated concrete, *Cem. Conr. Res.*, 9(1979) 507-514.