



PENGEMBANGAN MIKRO LUMPUR SIDOARJO SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN DALAM PEMBUATAN BETON

LASINO¹, N. RETNO SETIATI², DANY CAHYADI³

¹*Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman (lsn_pu@yahoo.com)*

²*Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (✉ retno.setiati@pusjatan.pu.go.id)*

³*Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman (danycahyadi@yahoo.com)*

Naskah diterima : 12 Februari 2018. Disetujui: 20 Mei 2018. Diterbitkan : 1 Juli 2018

ABSTRAK

Mikro lumpur Sidoarjo (mikrolusi) merupakan bahan yang sangat halus dengan kehalusan butir lolos saringan No. 200 (0,074 mm) bersifat pozolanik dan dapat bereaksi dengan kapur padam dengan bantuan air sehingga membentuk masa yang padat dan keras dalam suhu kamar. Bahan ini dihasilkan dari lumpur Sidoarjo melalui proses pembakaran pada suhu sintering dan penghalusan dengan alat dishmill serta pengayakan dengan ayakan standar. Karena bentuk fisiknya yang halus serta bersifat pozolanik maka akan dikembangkan sebagai bahan substitusi atau pengganti sebagian semen dalam pembuatan mortar dan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data teknis mikro lusi yang memenuhi syarat SNI 2460:2014 atau ASTM C618-14^a, dan dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen (cement substitution) dalam pembuatan beton. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan melakukan pembakaran lumpur Sidoarjo dan membuat benda uji. Benda uji mortar dibuat dengan ukuran kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm. Komposisi mikro lusi sebagai bahan substitusi semen yang digunakan terdiri dari empat variasi yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30%. Benda uji beton dibuat dengan ukuran silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Pada benda uji mortar dan beton dilakukan pengujian sifat fisis-mekanis. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh suhu bakar optimum 1000 oC dengan waktu selama 10 menit menggunakan tungku putar (rotary kiln). Mutu mikro lumpur Sidoarjo (lusi) dapat digunakan sebagai bahan pozolan alam untuk menggantikan semen karena memenuhi syarat SNI 2460:2014 yaitu mempunyai kandungan SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ lebih besar dari 70 % dan indeks kuat tekan sebesar 82 % (lebih besar dari 75 %). Kadar optimum mikro lusi yang digunakan sebagai pengganti semen sebesar 20 %. Beton dengan penambahan mikro lusi sebesar 20% dari berat semen mempunyai kuat tekan lebih besar dari beton tanpa mikro lusi.

Kata kunci : mikro lusi, pengganti semen, mortar, beton, bahan lokal, persyaratan SNI

1. PENDAHULUAN

Isi lumpur Sidoarjo (lusi) yang selama ini dikenal sebagai bahan buangan dan mengganggu lingkungan, dapat ditingkatkan pemanfaatannya sebagai material yang sangat berguna dengan nilai ekonomis yang tinggi. Hal ini sangat memungkinkan karena bahan tersebut

dapat dikembangkan sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan mortar dan beton, sehingga harganya dapat disetarakan dengan semen Portland (Puskim 2016). Melalui proses pembakaran dan penghalusan, akan diperoleh suatu material dengan karakteristik sesuai SNI 2460:2014 tentang spesifikasi abu terbang batu bara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton (BSN 2014). Dengan sifat-sifat atau karakteristik dari bahan baku (lumpur Sidoarjo) yang dimiliki akan dikembangkan mikro lusi yang memiliki sifat pozolanik dan reaktif terhadap kapur padam. Saat ini semburan lumpur masih terus berlangsung dengan kapasitas antara 30.000 m³ sampai dengan 80.000 m³ per hari. Material lumpur tersebut berbentuk butiran halus, berwarna abu-abu kehitaman, sangat plastis, dan memiliki nilai susut kering yang tinggi. Pemanfaatan lumpur Sidoarjo sebagai bahan pembuatan beton polimer sudah pernah dilakukan sebelumnya di Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman pada tahun 2016. Berdasarkan hasil penelitian tersebut diperoleh data bahwa unsur kimia yang terkandung didominasi oleh silika (> 50%), alumina (26%), dan beberapa unsur lain seperti besi, kalsium dan magnesium dengan jumlah yang relatif kecil. Berdasarkan sifat-sifat dasar yang dimiliki ternyata lumpur tersebut setelah dibakar dan dihaluskan akan diperoleh material yang bersifat pozolanik, memiliki bobot relatif ringan dibanding dengan semen dan termasuk bahan bersifat semen (*cementitious material*). Indikasi tersebut juga dapat diperkirakan berdasarkan proses terjadinya pengembangan yang pada prinsipnya memerlukan dua kondisi, yaitu bahan baku harus mempunyai komposisi kimia yang seimbang antara *flux* (CaO, MgO, FeO, Fe₂O, K, Na₂O), silika (SiO₂), dan alumina (Al₂O₃) untuk menghasilkan leburan dengan viskous cukup untuk menahan gas yang timbul pada suhu tinggi, serta mengandung zat-zat yang dapat terurai atau bereaksi dengan konstituen lain untuk menghasilkan gas pada suhu dimana terjadi leburan (s.n. 2014). Berdasarkan beberapa sumber bahwa bahan bersifat semen (*cementitious material*) dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan mortar dan beton tanpa mengurangi mutu dari produk yang dihasilkan. Beberapa sifat teknis lainnya yang dapat diperoleh dengan menggunakan mikro lusi adalah beton lebih stabil, lebih kedap, dan tahan terhadap lingkungan agresif karena kapur bebas yang ditimbulkan dalam proses hidrasi akan ditangkap oleh silika dan membentuk lapisan membran pada permukaan beton sehingga lebih kedap. Karena kekedapannya meningkat maka beton menjadi lebih awet karena pada prinsipnya keawetan merupakan fungsi dari kekedapannya (Lasino 1997). Dari uraian diatas, maka akan dikembangkan mikro lusi dari bahan baku lumpur Sidoarjo melalui proses pembakaran dan penghalusan dan akan digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan mortar dan beton. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat teknis bahan baku khususnya sebagai bahan dasar dalam pembuatan mikro lusi. Sedangkan lingkup penelitian meliputi analisis bahan baku (sifat kimia, fisik, dan mekanik), uji coba pembakaran dengan tungku pijar, pembakaran dengan tungku putar (*rotarry kiln*), penghalusan dengan *dishmill* serta pengayakan dengan saringan No. 200 (0,074 mm). Melalui serangkaian tahapan penelitian ini diharapkan diperoleh suatu material yang memenuhi persyaratan teknis dan ekonomis sebagai bahan pengganti sebagian semen. Sebagai gambaran potensi lumpur Sidoarjo disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Pusat semburan lumpur Sidoarjo (Pulus)

2. STUDI LITERATUR

2.1. Mikro Lusi

Mikro lumpur Sidoarjo (lusi) merupakan bahan yang bersifat pozolanik dihasilkan dari proses pembakaran dan penghalusan dari lumpur Sidoarjo (lusi) dengan kehalusan butir lolos saringan No. 200 (0,074 mm) dan dapat bereaksi dengan kapur padam dengan bantuan air membentuk masa yang padat dan keras pada suhu kamar (Puskim 2016). Bahan ini memenuhi syarat SNI 2460:2014 atau ASTM C618-08, dan dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen (*cement substitution*) dalam pembuatan mortar dan beton. Sesuai SNI 2460:2014 tentang spesifikasi abu terbang batu bara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton (BSN 2014), persyaratan kimia disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Persyaratan kimia bahan pozolan sesuai SNI 2460:2014

| Uraian | Kelas pozolan | | |
|--|---------------|----------------|----|
| | N | F | C |
| Jumlah $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, minimum,.... % | 70 | 70 | 50 |
| SO_3 , maks, | 4 | 5 | 5 |
| Kadar air, maks, | 3 | 3 | 3 |
| Hilang pijar, maks, | 10 | 6 ^A | 6 |

Keterangan:

^APenggunaan pozolan kelas F dengan kadar hilang pijar sampai 12% dapat disetujui oleh pengguna, jika salah satu dari catatan kinerja yang dapat diterima atau hasil uji laboratorium tersedia.

Sedangkan persyaratan fisik dari bahan pozolan sesuai SNI 2460:2014 disajikan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Persyaratan fisik bahan pozolan sesuai SNI 2460:2014

| Uraian | Kelas pozolan | | |
|--|---------------|-----|-----|
| | N | F | C |
| Kehalusan: | | | |
| Jumlah tertinggal di atas ayakan no 325 (μ) maks,..... % | 34 | 34 | 34 |
| Indeks aktifitas kekuatan dengan menggunakan semen portland: | | | |
| Pada umur 7 hari, min | 75 | 75 | 75 |
| Pada umur 28 hari, min | 75 | 75 | 75 |
| Air yang digunakan dari pembanding, maks, | 115 | 105 | 105 |
| Kekekalan bentun, pengembangan dengan autoclave, maks, % | 0,8 | 0,8 | 0,8 |

Keterangan:

Kelas N : Adalah pozolan alam atau hasil kalsinasi dari tanah *diatomie, shale, tufa*, abu vulkanik tau batu apung;

Kelas F : Adalah abu terbang yang memenuhi syarat kelas F, yang memiliki sifat pozolanik;

Kelas C : Adalah abu terbang yang memenuhi syarat kelas C, yang memiliki sifat pozolanik dan sementitious.

2.2. Tanah/Lempung

Tanah/lempung adalah akumulasi partikel mineral yang ikatan antar partikelnya lemah, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Ikatan lemah tersebut disebabkan oleh pengaruh karbonat/oksida yang tersenyawa diantara partikel atau adanya bahan organik (Sugiarto dan Lasino 2014). Pembentukan tanah dapat disebabkan oleh pengaruh fisis atau kimiawi (Hamzah, dkk 1995). Bahan yang berbutir < 0,002 mm disebut lempung. Pelapukan dapat menyebabkan terjadinya tanah primer (terdapat ditempat terjadinya disintegrasi) dan tanah sekunder (tanah mengalami transportasi).

Beberapa klasifikasi tanah/lempung yang digunakan dalam industri bahan bangunan (Sugiharto 2014) seperti:

- Berdasarkan sifat fisiknya (lempung *marl*, lempung merah, lempung *loams*, dan lain-lain),
- Berdasarkan mineralnya (lempung *kaolinit, halloysit, illit, montmorilonit, kaolonit-halloysit*),
- Berdasarkan distribusi butirannya, lempung tersusun oleh 3 (tiga) fraksi bahan (fraksi mineral lempung), yaitu fraksi (20-2) mikron, lebih besar dari 20 mikron dan lebih kecil dari 2 mikron,
- Berdasarkan komposisi kimianya, tanah liat tersusun dari oksida-oksida sebagai berikut (Suripto 1995):

$SiO_2 = (50 - 70)\%$; $Al_2O_3 = (10 - 35)\%$; $Fe_2O_3 = (2 - 8)\%$; $TiO_2 = (0,1 - 2)\%$; $CaO = (0,5 - 15)\%$; $MgO = (0,2 - 5)\%$; $SO_3 = (0 - 0,5)\%$; $HP = (3 - 12)\%$.

- Selanjutnya spesifikasi tanah liat sebagai bahan keramik sebagai berikut:

- Berdasarkan partikel butirannya:

| Ukuran (mm) | Persentase (%) |
|-------------|----------------|
| > 1,000 | 0 - 3 |
| > 0,200 | 0 - 20 |
| > 0,090 | 8 - 25 |
| > 0,060 | 10 - 30 |
| > 0,020 | 15 - 45 |
| > 0,002 | 20 - 65 |
| < 0,002 | 15 - 50 |

Atas dasar ukuran butir bahan baku yang cocok untuk jenis bahan bangunan tersebut dapat dikelompokkan dengan dasar distribusi butiran (Suripto 1995) seperti Tabel 3.

Tabel 3. Kesesuaian ukuran butir dan produk bahan keramik

| Fraksi butiran | Jenis produk | | |
|-------------------------|--------------|---------|---------------|
| | Bata pejal | genteng | Block dinding |
| < 2 mikron, min..... % | 20, 24, 28 | 25, 30 | 25, 35, 45 |
| < 20 mikron, min..... % | 50, 59, 60 | 45, 50 | 35, 32, 25 |

- Berdasarkan plastisitasnya.

Batas plastisitas (PL) adalah menunjukkan jumlah air tertentu yang ditambahkan dimana massa lempung air tidak dapat mempertahankan bentuk setelah dikenai tekanan. Batas cair (LL), adalah dimana lempung air tidak dapat mempertahankan

plastisitasnya karena mulai mengalir. Indek plastisitas (IP) adalah selisih kadar air antara batas cair dengan batas plastis (dari percobaan *Atterberg*).

IP = < 10%, lempung tidak plastis;

IP = (10 – 20)%, lempung agak plastis;

IP = (20 – 30)%, lempung plastis;

IP = > 30%, lempung sangat plastis.

- 1) Berdasarkan kepekaan terhadap pengeringan (*drying sensitivity/DSe*) (Suripto 1995) kepekaan tanah liat terhadap pengeringan/Dse yaitu :

Dse = < 1, tidak peka terhadap pengeringan;

Dse = 1 – 2, peka terhadap pengeringan;

Dse = > 2, sangat peka terhadap pengeringan.

Nilai Dse > 2, biasanya tidak disarankan karena akan menimbulkan kesulitan-kesulitan pada proses pengeringan. Selanjutnya tanah lempung bila dilihat dari nilai susut keringnya, adalah sebagai berikut :

< 6%, tidak peka terhadap pengeringan;

(6 – 10)%, peka terhadap pengeringan;

> 10%, sangat peka terhadap pengeringan.

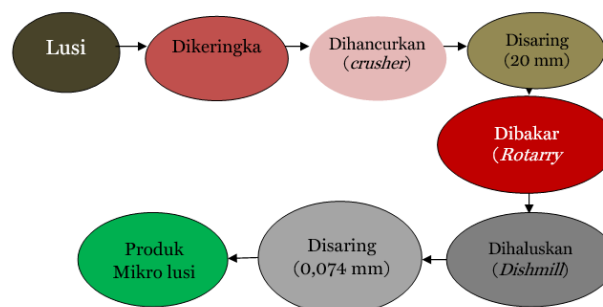
- 4) Berdasarkan kekuatan kering (*Green strength*)

Contoh uji tanah kering harus mempunyai kuat lentur > 10 kg/cm².

- 5) Sifat-sifat fisis lainnya.

2.3. Proses Pembuatan Mikro Lumpur Sidoarjo (Mikro Lusi)

Proses pembuatan tanah lusi menjadi bahan pozolan (yang selanjutnya disebut mikro lusi) dapat dilakukan dengan pembakaran sistem kering yaitu bahan baku yang berupa gumpalan padat, dikeringkan, dipecah, dan diayak lolos ayakan 20 mm kemudian langsung dimasukkan ke dalam tungku bakar. Proses ini biasanya menghasilkan butiran dengan bentuk dan sifat permukaan yang kurang beraturan. Berlaku untuk bahan lempung yang sangat keras, yaitu *shale* atau *slate*. Proses pembakaran yang lain adalah dengan sistem basah, yaitu bahan baku dalam keadaan basah, diaduk, dan bila perlu ditambah dengan bahan lain (batubara, kokas, antrasit, abu batu bara atau abu sekam padi), dibentuk menjadi butiran bulat (*pellet*) ukuran tertentu kemudian dikeringkan dan dibakar. Proses ini akan menghasilkan butiran yang uniform, permukaan halus, bulat, dan lebih ringan (s.n. 2014). Tetapi dengan proses basah ini akan memerlukan biaya yang lebih tinggi dibanding dengan proses kering, dan cocok untuk bahan lempung basah atau plastis. Dari hasil pembakaran lumpur Sidoarjo (lusi) selanjutnya dihaluskan dengan alat *dishmill* dan diayak dengan saringan No. 200 (0,074 mm) sehingga diperoleh suatu bubuk (*powder*) yang halus dan bersifat pozolan. Secara ringkas, proses pembuatan mikro lusi dapat diuraikan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Proses pembuatan mikro lusi

Kapur tohor dengan unsur kimia CaO adalah suatu bahan yang dihasilkan dari pembakaran batu kapur (CaCO_3) pada suhu tinggi (biasanya antara 1.000°C sampai dengan 1.100°C) selama kurun waktu tertentu sehingga kandungan CO_2 hilang dan tinggal CaO (selanjutnya disebut kapur tohor) (Puskim 2016). Kapur tohor ini belum dapat digunakan sebagai bahan pengikat sehingga harus dipadamkan terlebih dahulu dengan air bersih sehingga menjadi kapur padam.

Kapur padam merupakan hasil pemadaman kapur tohor dengan air sehingga diperoleh suatu bahan dengan komposisi kimia $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ dan dapat digunakan sebagai bahan pengikat untuk pembuatan mortar dengan bahan pengisi/agregat yang bersifat pozolanik. Untuk mendapatkan hasil pemadaman yang baik dan tepat, dalam pemberian air untuk pemadaman perlu dihitung berdasarkan bobot atomnya yaitu :

Kapur tohor $\text{CaO} \rightarrow \text{BA} = 40 + 16 = 56$

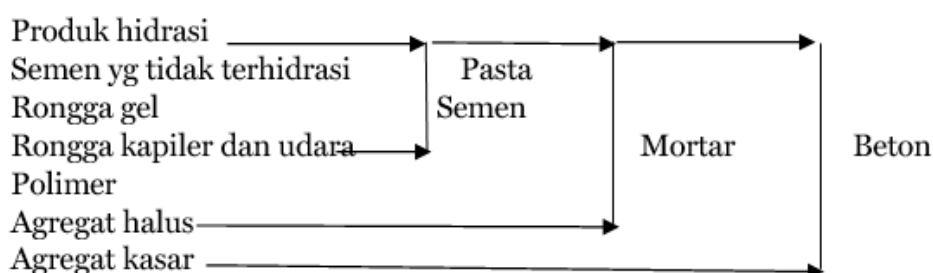
Air $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{BA} = 2 + 16 = 18$

maka jumlah air yang diperlukan adalah $18/56$ atau 0,32 (yaitu 32% dari berat kapur tohor).

Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh adukan dengan bahan pengikat kapur padam diantaranya adalah lebih plastis, dapat mengikat air lebih lama, dan adukan lebih stabil (tahan retak).

2.4. Beton

Beton merupakan bahan yang dibentuk dari campuran beberapa bahan dasar yaitu semen, pasir, kerikil, dan bisa ditambah dengan bahan aditif untuk memperoleh sifat-sifat khusus dari beton. Beberapa sifat khusus dari beton yang ingin diperoleh diantaranya adalah memiliki waktu pengikatan (*setting time*) yang lebih lama, lebih plastis, kompak, homogen, dan lebih stabil. Selain sifat beton segar seperti yang diuraikan di atas, beberapa sifat beton keras yang dapat diperoleh di antaranya adalah penyusutan yang kecil, kedap, dan kompak sehingga beton menjadi lebih awet dan stabil (Ohama, Y 1995). Dalam dua dekade terakhir ini telah terjadi perkembangan yang pesat dalam teknologi beton terkait perkembangan produk jenis semen dan bahan tambahan baik kimia maupun mineral serta produk beton dengan sifat-sifat khusus sesuai dengan tujuan dan fungsi bangunan yang akan didirikan. Untuk mendapatkan mutu beton yang baik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatannya antara lain pemilihan bahan yang baik, proporsi yang tepat, cara pengerjaan sesuai dengan metode baku, yang meliputi cara penakaran bahan, pengadukan, pengangkutan beton segar, pengecoran, pemadatan dan perawatan. Beberapa kriteria beton yang baik di antaranya meliputi pemenuhan persyaratan terhadap kemudahan pengerjaan, homogen, kuat, awet, dan stabil (Lasino 2017). Beton yang mudah dikerjakan biasanya akan mencapai tingkat kepadatan yang lebih baik, sehingga akan lebih padat, kedap dan stabil, sehingga akan menjadi kuat dan awet karena lebih kompak dan tidak mudah diserang oleh bahan-bahan yang dapat merusak beton. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, teknologi beton juga banyak mengalami perubahan akibat ditemukannya bahan-bahan pembentuk baru seperti penambahan bahan polimer sebagai *chemical admixture*, penambahan bahan pozolan untuk mempertinggi kedap dan sebagainya. Hal ini ditujukan untuk memperoleh sifat-sifat khusus sesuai tujuan penggunaannya atau fungsi bangunan dan kondisi lingkungan. Secara rinci bahan pembentuk beton diuraikan sebagai berikut:



Keseragaman mutu dan stabilitas bentuk beton dalam industri konstruksi sangat diharapkan untuk menjaga stabilitas konstruksi secara menyeluruh. Hal ini untuk menjaga adanya perlemahan pada salah satu bagian/element yang dapat mengakibatkan keruntuhan pada struktur tersebut. Selain memiliki banyak keunggulan, mortar dan beton semen juga mempunyai beberapa kelemahan, misalnya pengerasan yang cukup lama, kuat tarik rendah, penyusutan yang cukup besar, dan ketahanan serangan kimia yang agak rendah. Kelemahan ini dapat dikurangi dengan penambahan bahan polimer seperti latex, redispersible polymer powders, water soluble polymers, liquid resins, dan monomers (Bărbuță dan Harja 2008). Penggunaan bahan polimer dalam campuran untuk bahan komponen bangunan telah banyak diteliti dengan berbagai variasi jenis polimer dan bahan pengisi dan terbukti berpengaruh signifikan terhadap karakteristik campuran. Mortar polyester dengan tailing halus (FT) sebagai agregat pengisi dan Ground Calcium Carbonate (GCC) disiapkan dengan variasi rasio antara filler dengan (filler+binder). Sehingga direkomendasikan penggunaan FT dibatasi pada nilai rasio filler dan (filler+binder) sebanyak 50% (Nakwoon Choi, Seongjin Yoon, Kyoungju Mun, dan Yangseob Soh. 2004). Bărbuță dan Harja memaparkan penelitian mortar dan beton polimer yang terdiri dari bahan epoxy resin, silica fume, dan agregat pecah. Kandungan silica fume bervariasi antara 6,5% dan 30% untuk mortar polimer antara 6,4% dan 9,6% untuk beton polimer. Kuat tekan meningkat bila kandungan silica fume bertambah. Kuat lentur dan kuat tarik belah meningkat bila kandungan silica fume berkurang.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan dan Alat Penelitian

Tanah sebagai bahan baku berupa lumpur yang diambil dari pusat semburan lumpur Sidoarjo (pulus) pada kolam penimbunan/pengendapan yang selanjutnya disebut lumpur Sidoarjo (lusi). Alat yang digunakan untuk uji coba pembakaran dalam menentukan suhu optimum adalah tungku pijar (*muffle furnace*), sedangkan alat untuk pembakaran skala penuh menggunakan tungku putar (*rotary kiln*) yang ada di kantor Loka Teknologi Permukiman Cilacap. Pengujian kapur dan pozolan (kehalusan, densitas, pengikatan, dan lainnya) menggunakan alat uji di laboratorium bahan dan struktur bangunan Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman Bandung. Alat yang digunakan untuk uji coba pembuatan mortar dan beton menggunakan peralatan laboratorium bahan dan struktur bangunan Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman Bandung.

3.2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental laboratorium dengan membuat benda uji berupa pozolan buatan, mortar, dan beton. Suhu bakar untuk mendapatkan suhu optimum dalam pembuatan pozolan divariasikan antara 800°C sampai dengan 1.100°C dengan kenaikan suhu setiap 100°C. Uji coba pembakaran agregat dengan alat tungku pijar (*muffle furnace*) dengan berbagai variasi suhu bakar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rancangan uji coba suhu bakar pembuatan pozolan

| No. | Tahap-1 | | Tahap-2 | |
|-----|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Suhu bakar (°C) | Waktu (menit) | Suhu bakar (°C) | Waktu (menit) |
| 1 | 800 | 5 | 800 | 10 |
| 2 | 900 | 5 | 900 | 10 |
| 3 | 1.000 | 5 | 1.000 | 10 |
| 4 | 1.100 | 5 | 1.100 | 10 |

Selanjutnya uji coba penggunaan mikro lusi sebagai substitusi semen dalam mortar dan beton disajikan dalam Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Rancangan uji coba penggunaan mikro lusi sebagai substitusi semen

| No | Untuk Mortar | | Untuk Beton | |
|----|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| | Kadar Semen (%) | Kadar mikro lusi (%) | Kadar Semen (%) | Kadar mikro lusi (%) |
| 1 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| 2 | 90 | 10 | 90 | 10 |
| 3 | 80 | 20 | 80 | 20 |
| 4 | 70 | 30 | 70 | 30 |

Uji coba pembakaran tanah dengan berbagai variasi suhu dan waktu bakar selama 10 menit untuk setiap variasi suhu sebagaimana diuraikan dalam Tabel 4 di atas adalah untuk mendapatkan hasil bakar yang optimal, pozolan yang baik, dan memenuhi syarat sebagai bahan substitusi semen. Pengamatan tingkat kesempurnaan pembakaran berdasarkan suhu dan waktu bakar diperiksa berdasarkan kondisi fisik dan sifat pengikatan dengan melakukan pengujian yang mencakup kondisi fisik (tingkat rata-rata warna), bentuk butiran (meleleh, gosong, dan menggumpal) serta mutu pozolan. Setelah diperoleh suhu dan waktu bakar yang optimal, selanjutnya dilakukan pembakaran skala penuh dengan menggunakan tungku putar (*rotary kiln*) dengan menyesuaikan kecepatan putar dan kelandaian posisi tungku sehingga diperoleh suhu dan waktu bakar yang sesuai (s.n. 2014). Hasil pembakaran dengan tungku putar berupa butiran dengan berbagai ukuran dan selanjutnya dihaluskan dengan alat *dishmill* dan disaring dengan ukuran lubang 0,074 mm sehingga diperoleh bahan yang halus dan bersifat pozolanik. Sedangkan uji coba penggunaan bahan pozolan (mikro lusi) sebagai bahan substitusi dalam pembuatan mortar dan beton ditujukan untuk memperoleh kadar yang paling optimum dimana dapat menghasilkan mortar dan beton dengan mutu yang lebih baik.

Untuk mengetahui mutu pozolan yang dihasilkan dari pembakaran lusi, maka dilakukan uji terhadap pozolanik *reactivity* dengan mencampurkan kapur padam. Pengujian ini didahului dengan pembuatan kapur padam yang merupakan pepadaman dari kapur tohor dan air dengan perbandingan sesuai bobot atomnya, yaitu kapur tohor = CaO = 58, dan air = H₂O = 18, maka air yang diperlukan untuk pepadaman 100 Kg kapur tohor adalah $18/58 \times 100 = 31,04$ kg. Pengujian pozolanik *reactivity* dimaksudkan untuk mengetahui apakah lumpur setelah dibakar dan dihaluskan termasuk bahan bersifat semen dan reaktif terhadap kapur padam. Uji sifat pozolanik dengan alat vikat dari campuran 1 bagian kapur padam : 2 bagian pozolan, ternyata mikro lusi memiliki sifat pozolanik yang cukup baik dengan waktu pengikatan 1 x 24 jam (maksimum 3 x 24 jam).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Sifat Fisis Bahan Baku/Lumpur

Pengujian bahan baku dilakukan untuk mengetahui sifat atau karakteristik yang dimiliki, sebagai dasar dalam pengembangan mikro lusi yang akan dilakukan sehingga dapat memberikan tindakan atau proses yang tepat serta perkiraan hasil yang akan didapatkan. Hasil pengujian sifat fisis bahan baku/lumpur disajikan dalam Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil pengujian sifat fisis lumpur Sidoarjo

| No | Uraian uji | Hasil uji | Persyaratan | Keterangan |
|----|---|-----------|-------------|---------------------------|
| 1 | Indek plastis (IP),..... % | 37,40 | < 30,00 | sangat plastis |
| 2 | Klasifikasi | CH | - | lanau plastisitas tinggi |
| 3 | Berat isi basah,..... g/cm ³ | 1,79 | - | - |
| | Berat isi kering,.... g/cm ³ | 1,12 | - | - |
| 4 | Besar butir, | | - | - |
| | > 2 mm, % | 0,00 | - | - |
| | > 0,02 mm, % | 22,00 | - | - |
| | 0,02-0,002 mm, % | 36,00 | - | - |
| | < 0,002 mm, % | 52,00 | - | - |
| 5 | Nilai DSe, | 1,09 | - | peka terhadap pengeringan |
| 6 | Susut kering, % | 7,10 | - | peka terhadap pengeringan |
| 7 | Susut bakar, % | 0,72 | - | - |
| 8 | Kuat lentur kering, kg/cm ² | 11,20 | > 10,00 | cukup baik |

Keterangan : Hasil pengujian di Balai Besar Keramik Bandung, 2016

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa hasil pengujian sifat fisis dari bahan lumpur sangat plastis dengan indek plastis 37,40%, serta nilai drying shrinkage efisiensi (DSe) dan susut kering yang besar, tetapi memiliki kekuatan lentur kering yang tinggi. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa dalam proses pengeringan akan terjadi penyusutan yang tinggi, tetapi setelah dibakar menjadi sangat stabil.

4.2. Hasil Analisis Kimia

Selanjutnya untuk mengetahui unsur yang terkandung dalam bahan baku juga diperlukan analisis kimia sehingga dasar dalam pengembangan bahan pozolan ini cukup kuat yang didukung dengan unsur yang terkandung. Hasil analisis kimia dari 4 (empat) sampel tanah lumpur yang digunakan untuk bahan substitusi semen disajikan pada Tabel 7. Dari ke empat sampel tersebut, diambil nilai rata-rata dari setiap jumlah unsur yang terkandung dalam lumpur tersebut.

Tabel 7. Hasil pengujian analisis kimia lumpur Sidoarjo

| No | Uraian uji/unsur | Hasil uji | | | | | Syarat untuk bahan pozolan |
|----|--------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------------------------|
| | | Sampel 1 | Sampel 2 | Sampel 3 | Sampel 4 | Rata-rata | |
| 1 | SiO ₂ , (%) | 52,79 | 48,60 | 52,28 | 54,00 | 51,92 | 50 – 70 |
| 2 | Al ₂ O ₃ , (%) | 26,35 | 28,94 | 23,24 | 21,74 | 25,07 | 10 – 35 |
| 3 | Fe ₂ O ₃ , (%) | 8,51 | 8,37 | 8,26 | 8,34 | 8,37 | 2 – 8 |
| 4 | CaO, (%) | 1,97 | 3,92 | 4,76 | 6,08 | 4,18 | 0,5 – 15 |
| 5 | MgO, (%) | 2,53 | 2,21 | 2,42 | 3,49 | 2,66 | 0,2 – 5 |

| No | Uraian uji/unsur | Hasil uji | | | | | Syarat untuk bahan pozolan |
|----|--------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------------------------|
| | | Sampel 1 | Sampel 2 | Sampel 3 | Sampel 4 | Rata-rata | |
| 6 | K ₂ O, (%) | 2,86 | 2,96 | 2,90 | 1,08 | 2,45 | - |
| 7 | Na ₂ O ₃ , (%) | 2,08 | 1,71 | 2,17 | 2,11 | 2,02 | - |
| 8 | SO ₃ , (%) | 0,98 | 0,97 | 0,92 | 0,96 | 0,96 | 0 - 0,5 |
| 9 | HP, (%) | 1,92 | 1,06 | 1,76 | 1,67 | 1,60 | 3 - 12 |

Keterangan : Hasil pengujian di laboratoium Balai Besar Keramik Bandung, 2016.

Berdasarkan Tabel 7 terlihat bahwa unsur kimia yang terkandung dalam tanah lumpur didominasi oleh unsur silika, alumina, dan besi dengan jumlah unsur SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ sebesar 85,36%, dengan kandungan unsur tersebut, maka bahan ini sangat baik untuk digunakan sebagai bahan pozolan buatan. Hal penting lainnya adalah bagian hilang pijar sangat kecil yang mengindikasikan bahwa bahan organik sangat rendah termasuk unsur sulfur yang dapat mengganggu pengikatan semen dan keawetan beton atau mortar. Dari unsur tersebut juga dapat diindikasikan bahwa pada saat pembakaran akan terjadi pengembangan akibat adanya leburan dengan viskous cukup untuk menahan gas yang timbul pada suhu tinggi, serta mengandung zat-zat yang dapat terurai atau bereaksi dengan konstituen lain untuk menghasilkan gas pada suhu dimana terjadi leburan.

4.3. Hasil Pengujian Pozolan

Hasil pengujian analisis kimia pozolan berupa mikro lusi disajikan dalam Tabel 8. Jumlah sampel mikro lusi yang diuji sifat kimianya terdiri dari dua sampel. Dari kedua sampel tersebut diambil nilai rata-rata dari setiap unsur yang terkandung dalam mikro lusi tersebut.

Tabel 8. Hasil pengujian analisis kimia mikro lusi

| No | Uraian uji/unsur | Hasil uji | | | Syarat |
|----|--------------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| | | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata | |
| 1 | SiO ₂ , (%) | 57,28 | 58,00 | 57,64 | 50 - 70 |
| 2 | Al ₂ O ₃ , (%) | 23,24 | 22,74 | 22,99 | 10 - 35 |
| 3 | Fe ₂ O ₃ , (%) | 6,34 | 6,26 | 6,30 | 2 - 8 |
| 4 | CaO, (%) | 4,76 | 6,08 | 5,42 | 0,5 - 15 |
| 5 | MgO, (%) | 2,42 | 4,49 | 3,46 | 0,2 - 5 |
| 6 | K ₂ O, (%) | 1,90 | 1,08 | 1,49 | - |
| 7 | Na ₂ O ₃ , (%) | 4,17 | 2,11 | 3,14 | - |
| 8 | SO ₃ , (%) | - | - | - | 0 - 0,5 |
| 9 | HP, (%) | 0,76 | 1,67 | 1,22 | 3 - 12 |

Berdasarkan komposisi kimia dari hasil pengujian pada Tabel 8 diatas dengan unsur silika, alumina dan besi (SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃) sebesar 86,69% maka mutu mikro lusi memenuhi syarat sesuai SNI 2460:2014 tentang spesifikasi abu terbang batu bara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi dan dapat digunakan untuk pembuatan mortar dan beton.

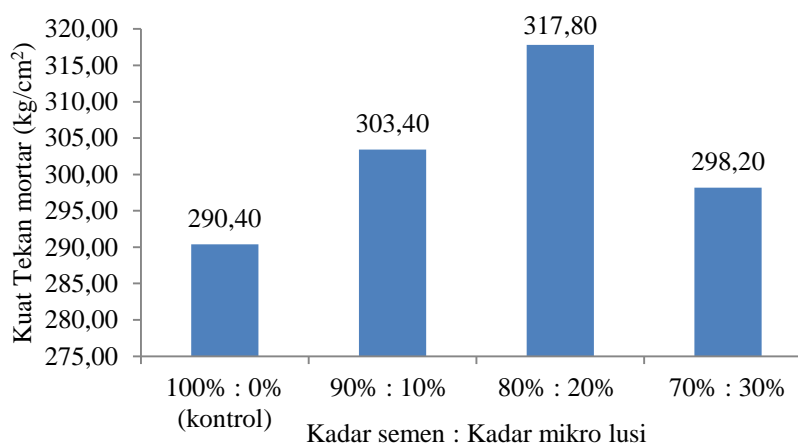
4.4. Hasil Pengujian Mortar

Pengujian mortar dengan berbagai variasi kadar pozolan (mikro lusi) sebagai pengganti sebagian semen (*cement substitution*) dengan benda uji mortar berbentuk kubus ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Perbandingan campuran yang digunakan adalah 1 semen : 2,75 pasir standar dan hasil pengujian disajikan dalam Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Hasil pengujian mortar mikro lusi

| No | Kadar semen | Kadar mikro lusi | Ukuran (cm) | | | Luas bid tekan (cm ²) | Berat (gr) | Beban (kg) | Kuat tekan (kg/cm ²) | |
|----|-------------|------------------|-------------|-----|-----|-----------------------------------|------------|------------|----------------------------------|-----------|
| | | | P | L | T | | | | Masing-masing | Rata-rata |
| 1 | 100 % | 0 % | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 25,0 | 248,3 | 7.350 | 294,0 | 290,4 |
| 2 | | | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 26,0 | 261,6 | 7.595 | 292,1 | |
| 3 | | | 5,1 | 5,0 | 5,1 | 25,5 | 243,5 | 7.270 | 285,1 | |
| 1 | 90 % | 10 % | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 26,0 | 240,9 | 7.813 | 300,5 | 303,4 |
| 2 | | | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 26,0 | 237,1 | 7.852 | 302,0 | |
| 3 | | | 5,1 | 5,0 | 4,9 | 25,5 | 216,7 | 7.846 | 307,7 | |
| 1 | 80 % | 20 % | 5,0 | 5,1 | 5,0 | 25,5 | 229,6 | 8.129 | 318,8 | 317,8 |
| 2 | | | 5,1 | 5,0 | 5,1 | 25,5 | 227,5 | 8.055 | 315,9 | |
| 3 | | | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 26,0 | 246,1 | 8.286 | 318,7 | |
| 1 | 70 % | 30 % | 5,1 | 5,0 | 5,0 | 25,5 | 247,2 | 7.533 | 295,4 | 298,2 |
| 2 | | | 5,1 | 5,0 | 5,1 | 25,5 | 258,9 | 7.617 | 298,7 | |
| 3 | | | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 25,0 | 242,7 | 7.512 | 300,5 | |

Berdasarkan Tabel 9, hasil pengujian mortar dengan berbagai variasi mikro lusi diperoleh kadar optimum sebesar 20% dari berat semen. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan mikro lusi sebagai pengganti sebagian semen dalam mortar memberikan nilai positif secara teknis dan dapat mengurangi biaya produksi karena harga dari mikro lusi lebih rendah dari harga semen Portland. Dalam bentuk grafik, hasil pengujian mortar disajikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Hasil uji kuat tekan mortar mikro lusi

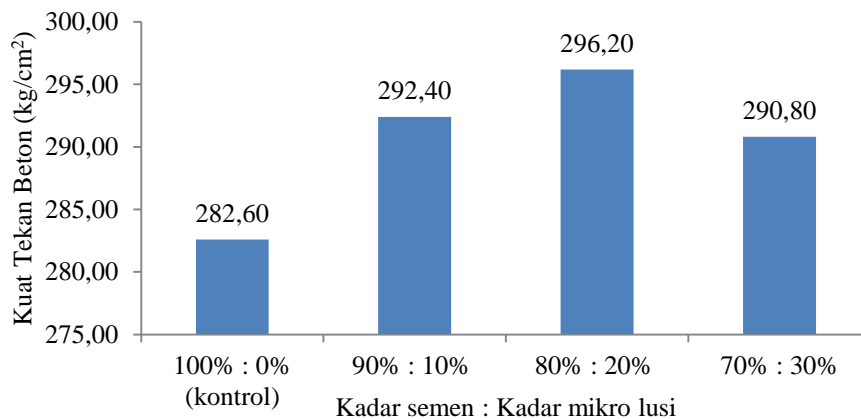
4.5. Hasil Pengujian Beton

Selanjutnya pengujian beton dengan berbagai variasi kadar pozolan (mikro lusi) sebagai pengganti sebagian semen (cement substitution) dengan benda uji berbentuk silinder ukuran diameter (\emptyset) 10 cm dan tinggi (H) 20 cm. Mutu beton yang direncanakan adalah f_c 20 MPa, dengan target kuat tekan rata-rata yang ingin dicapai adalah 28 MPa. Hasil pengujian beton dengan berbagai variasi kadar pozolan (mikro lusi) sebagai pengganti sebagian semen (cement substitution) disajikan dalam Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Hasil pengujian beton mikro lusi

| No | Kadar semen | Kadar mikro lusi | Ukuran (cm) | | Luas bid tekan (cm ²) | Berat (gr) | Beban (kg) | Kuat tekan (kg/cm ²) | |
|----|-------------|------------------|-------------|------|-----------------------------------|------------|------------|----------------------------------|-----------|
| | | | Ø | H | | | | Masing-masing | Rata-rata |
| 1 | 100 % | 0 % | 10,0 | 20,0 | 78,50 | 3.625 | 22.294 | 284,0 | 282,6 |
| 2 | | | 10,1 | 20,1 | 80,08 | 3.628 | 22.599 | 282,2 | |
| 3 | | | 10,1 | 20,1 | 80,08 | 3,624 | 22.550 | 281,6 | |
| 1 | 90 % | 10 % | 10,1 | 20,1 | 80,08 | 3,618 | 23.287 | 290,8 | 292,4 |
| 2 | | | 10,1 | 20,1 | 80,08 | 3.626 | 23.383 | 292,0 | |
| 3 | | | 10,1 | 20,9 | 80,08 | 3.632 | 23.576 | 294,4 | |
| 1 | 80 % | 20 % | 10,0 | 20,0 | 78,50 | 3.615 | 23.393 | 298,0 | 296,2 |
| 2 | | | 10,1 | 20,1 | 80,08 | 3.629 | 23.672 | 295,6 | |
| 3 | | | 10,1 | 20,1 | 80,08 | 3.631 | 23.623 | 295,0 | |
| 1 | 70 % | 30 % | 10,1 | 20,0 | 80,08 | 3.618 | 23.239 | 290,2 | 290,8 |
| 2 | | | 10,1 | 20,1 | 80,08 | 3.624 | 23.127 | 288,8 | |
| 3 | | | 10,0 | 20,0 | 78,50 | 3.616 | 23.032 | 293,4 | |

Berdasarkan Tabel 10, hasil pengujian beton dengan berbagai variasi mikro lusi diperoleh kadar optimum sebesar 20% dari berat semen sama dengan hasil uji kuat tekan mortar. Hasil uji kuat tekan silinder beton pada kadar mikro lusi 20% sebesar 296,20 kg/cm² sama dengan, jika dikonversikan ke ukuran silinder 15 cm x 30 cm dengan faktor pengali 0,962 (Neville 2011) maka kuat tekan yang dicapai adalah sebesar 284,94 kg/cm² (28,49 MPa). Hasil tersebut sesuai mutu beton yang direncanakan yaitu kuat tekan rata-rata sebesar 28 MPa. Penggunaan mikro lusi sebagai pengganti sebagian semen dalam beton memberikan nilai positif secara teknis, dengan demikian penggunaan mikro lusi ini juga dapat mengurangi biaya pembuatan beton karena harga dari mikro lusi lebih rendah dibanding harga semen Portland. Dalam bentuk grafik, hasil pengujian beton disajikan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Hasil uji kuat tekan beton mikro lusi

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Lumpur Sidoarjo dapat dikembangkan menjadi bahan pozolan melalui proses pembakaran dan penyaringan yang selanjutnya disebut mikro lusi. Suhu bakar optimum yang diperlukan untuk pembuatan mikro lusi adalah 9000C - 1.000oC dengan waktu bakar selama 10 menit. Mikro lusi yang dihasilkan mempunyai sifat pozolanik yang sangat baik dengan waktu

pengikatan selama 1 x 24 jam, termasuk mutu I. Berdasarkan hasil analisis kimia, mikro lusi memenuhi persyaratan SNI 2460:2014 tentang spesifikasi abu terbang batu bara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi dan dapat digunakan untuk pembuatan mortar dan beton. Kadar optimum penggunaan mikro lusi sebagai bahan substitusi semen dalam mortar sebesar 20% dengan kuat tekan mortar yang diperoleh adalah 317,8 kg/cm². Demikian pula penggunaan mikro lusi sebagai substitusi semen dalam campuran beton diperoleh kadar optimum sebesar 20% dengan kuat tekan rata-rata adalah 296,2 kg/cm². Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pengembangan lumpur Sidoarjo (lusi) menjadi bahan pozolan sangat prospektif dan dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam pembuatan mortar dan beton.

5.2. Saran

Perlu dilakukan kajian lebih jauh kemungkinan penggunaan mikro lusi sebagai bahan campuran dalam produksi semen (semen Portland pozolan). Perlu disusun panduan pembuatan dan penggunaan mikro lusi untuk mortar dan beton sebagai acuan dalam pengembangan di masyarakat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam kesempatan ini penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah menyumbangkan tenaga dan pemikirannya sehingga tersusunnya tulisan ini. Ucapan terimakasih terutama kami tujukan kepada yang terhormat Kepala Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman dan Kepala Pusat Litbang Jalan dan Jembatan yang telah memberi kesempatan dan dukungannya dalam melakukan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Kepala Balai Bahan dan Struktur Bangunan serta rekan-rekan peneliti dan teknisi di Laboratorium Bahan dan Struktur Bangunan Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman atas segala bantuan dan kerjasamanya.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- ASTM C618 – 08, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete;
- Anonymous, 2016, Pemanfaatan lumpur Sidoarjo untuk beton polimer dan bata merah, Laporan Penelitian Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Bandung;
-2014, Spesifikasi abu terbang batu bara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi dan dapat digunakan untuk pembuatan mortar dan beton, SNI 2460:2014, Jakarta, BSN;
-2014, Artificial Lightweight Aggregate dari Lempung Bekah, Laporan Internal, Bandung [s.n.];
- Lasino, 1997, Quality Control of Concrete Work. Bandung: Puslitbang Permukiman;
- Sugianto, A. dan Lasino. 2014, Pengembangan agregat dari tanah (ARTA) di Merauke- Papua. Informasi teknologi keramik dan gelas. Volum 35. No.1. Balai Besar Keramik. Bandung;
- Fanani Hamzah, dkk. 1995, Laboratorium Teknologi Keramik – Balai Besar Industri Keramik, Bandung;
- Sugiharto, B. 2014, Pengembangan panel ringan dengan agregat ringan buatan (artificial lightweight aggregate). Laporan Penelitian, Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman, Badan Litbang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Bandung;
- Suripto MA. 1995, Teknologi Bahan Bangunan dari Tanah Liat, Balai Besar Industri Keramik, Bandung;
- Yoshihiko Ohama. 1995, Handbook of Polymer-Modified Concrete And Mortars : Properties and Process Technology, Noyes Publications, New Jersey, USA;

- Marinela Bărbuță & Maria Harja. 2008, Experimental Study On The Characteristics Of Polymer Concrete With Epoxy Resin, Buletinul Institutului Politehnic;
- Nakwoon Choi, Seongjin Yoon, Kyoungju Mun, dan Yangseob Soh. 2004, Polyester Mortars With Fine Tailing As Filler, Proceedings of RILEM International Symposium on Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development page 425-432, ISBN 2912143640;
- Sugiharto, B. 2009, Pengembangan Bahan Bangunan Alternatif Dari Lumpur Lapindo Dengan Bahan Aditif, Laporan akhir, Puslitbang Permukiman, Bandung;
- Lasino, 2017, Pengetahuan Bahan Bangunan, Bahan ajar di Institut Pemerintahan Dalam Negeri (IPDN), Bandung;
-2014, Spesifikasi Agregat Ringan untuk Beton Struktur, SNI 2461:2014, Jakarta, BSN;
- Neville, Adam. M, 2011, Properties of Concrete 5th Edition, Pearson Education Limited England. Diunduh dari : <https://igitgeotech.files.wordpress.com/2014/10/properties-of-concrete-by-a.m-neville.pdf>. tanggal 7 September 2017.