

## PENGEMBANGAN *CEMENTIOUS BINDER* DARI LIMBAH BATU PIPIH, SILIKA ABU SEKAM PADI DAN BATU GAMPING SERTA PEMANFAATANNYA DALAM PEMBUATAN BATAKO *INTERLOCKING*

I Wayan Karyasa

Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja  
email: Karyasa.undiksha@gmail.com

### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan *cementious binder* (CB) secara *triaksial blend* bubuk halus batu pipih (BHBP) – bubuk super halus silika amorp dari abu sekam padi (RHA-UFAS) – bubuk batu gamping (CaO) dan merancang sebuah teknologi tepat guna pembuatan batako *interlocking* menggunakan CB terbaik yang dihasilkan. Pengamatan penampakan luar, pengujian porositas dan pengukuran kuat tekan dilakukan terhadap masing-masing 5 benda uji plat beton yang dihasilkan dari tiap-tiap komposisi CB sehingga telah ditemukan CB dengan komposisi relatif terbaik yang dibuat dengan *triaksial blend* bubuk halus batu pipih – bubuk super halus silika abu sekam padi dan bubuk CaO. Komposisi CB : pasir : fraksi air yaitu 1 : 6 : 0,4 telah menghasilkan batako *interlocking* kualitas I (sesuai SNI) dan superior dibandingkan dengan batako *interlocking* dengan semen : pasir = 1 : 6. Hasil penelitian berkontribusi pada (1) pemberian *added value* terhadap limbah pemotongan batu pipih dan sekam padi, (2) memperbaiki kualitas batako sehingga mampu meningkatkan harga jual batako dan meningkatkan kekuatan batako sebagai salah satu bahan konstruksi; dan (3) menghasilkan teknologi tepat guna yang bermanfaat bagi masyarakat khususnya UKM batako.

**Kata-kata kunci:** *cementious binder*, batu pipih, silika abu sekam, batako *interlocking*.

### 1. Pendahuluan

Di sebelah timur Pura Ponjok Batu, tepatnya di Dusun Alassari, desa Pacung, Kecamatan Tejakula terdapat sebuah UKM yang telah lama eksis dengan usaha pemotongan batu pipih. Menurut penuturan pemiliknya, usaha yang digelutinya merupakan usaha keluarga secara turun temurun. Berkembangnya kebutuhan konsumen yang menginginkan produk potongan batu pipih yang bervariasi sesuai peruntukannya menyebabkan banyak bagian batu pipih yang terbuang percuma. Sisa-sisa potongan batu pipih tersebut menumpuk dan bahkan menggunung sebagai limbah. Padahal, para pengangkut batu pipih bersusah payah mengangkut dari tepi bukit atau jurang bukit berjalan menyusuri keterjalan bukit berbatu. Belum lagi masalah bahaya yang selalu mengancam karena batu pipih ini sangat tajam dan mudah belah pipih. Pemanfaatan limbah pemotongan batu pipih tersebut menjadi produk yang memberi nilai tambah tinggi memerlukan kajian dan pengembangan teknologi tepat guna. Hasil penelitian XRF dan XRD bubuk batu pipih Tejakula (Karyasa, 2009a) menunjukkan bahwa batu pipih kaya akan mineral yang mengandung besi, silikon, aluminium, kalsium, seng, mangan dan logam-logam lainnya. Material yang mengandung unsur-unsur seperti tersebut sangat cocok dikembangkan sebagai material perekat

atau yang dikenal sebagai *cementious binder* (CB). Untuk membuat CB diperlukan tambahan silika amorphous dan pengaya lainnya seperti kalsium oksida.

Silika amorphous dapat diperoleh dengan mudah dan murah dari pembakaran sekam padi. Padi merupakan tanaman yang paling utama di sebagian besar belahan bumi karena beras merupakan salah satu makanan pokok. Produksi padi dunia diperkirakan sekitar 550.000.000 ton/tahun (Wada, *et al.*, 2005). Selain jerami, limbah utama pertanian padi adalah sekam padi yang diperkirakan sekitar 100.000.000 ton/tahun sedangkan Indonesia menghasilkan sekam padi sekitar 13.000.000 ton/tahun (Balipost, 2003). Sekam padi merupakan limbah pertanian yang kaya silikon dan jika dibakar mampu menghasilkan silika ( $\text{SiO}_2$ ) 10 – 15 % b/b (Real, *et al.*, 1996; Conradt, *et al.*, 1992). Sekam padi yang diambil dari daerah Baturiti Tabanan menghasilkan silika 20,6% b/b (Karyasa & Walter, 2004). Silika yang dihasilkan dari abu sekam padi berupa bubuk putih dengan kemurnian 94-96 % b/b dengan pengotor  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Pengotor tersebut dapat dengan mudah dilarutkan dengan asam-asam mineral sehingga diperoleh silika amorp yang reaktif dengan kemurnian sampai 99 % b/b (Real, *et.al*, 1996). Berdasarkan kajian di atas, pembuatan CB dari limbah batu pipih dan

silika abu sekam padi merupakan hal yang sangat strategis.

Di sisi lain, sampai saat ini usaha pencetakan pasir ditambah semen sebagai batako banyak dilakukan masyarakat sebagai usaha mikro sampai usaha kecil dan menengah. Dengan semakin mahalnya harga semen, maka biaya produksi semakin tinggi dan kualitas produksi menjadi goyah untuk dipertahankan untuk menutup biaya produksi. Material baru pengganti semen dengan harga yang lebih murah sangat perlu dikembangkan. Apalagi material baru tersebut mampu meningkatkan kualitas batako. Memperhatikan kandungan kimiawi bubuk batu pipih Tejakula yang kaya dengan besi dan unsur-unsur logam lainnya, kalau ditambah dengan bahan pengisi (silika) dan pengaya (kalsium oksida) diduga mampu menghasilkan batako dengan biaya produksi yang relatif lebih murah dari cara pembuatan batako konvensional. Disamping itu, pengembangan teknologi batako dari sisi desain sehingga menghasilkan batako yang lebih efektif dalam memanfaatkan semen (baik sebagai binder maupun sebagai mortar perekat batako pada konstruksi bangunan sangat diperlukan. Ide bentuk batako yang mudah saling mengkait seperti halnya permainan anak-anak "lego" yang selanjutnya disebut *batako interlocking* (BI) adalah adopsi dari bata merah non bakar "lego-like" yang merupakan salah satu pengembangan produk dari usaha pigmen anorganik alami batu merah Tajun (Karyasa, dkk., 2010). Keunggulan batako lego-like ini adalah irit dengan penggunaan mortar, *designable*, dan diprediksi dari sisi konstruksi cocok untuk wilayah yang rawan gempa. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan *CB* secara *triaksial blend* bubuk halus batu pipih (BHBP) – bubuk super halus silika amorp dari abu sekam padi (RHA-UFAS) – bubuk batu gamping (CaO). Tujuan berikutnya adalah mengembangkan batako interlocking yang memanfaatkan *CB* sehingga dapat dirumuskan sebuah teknologi tepat guna yang tidak saja memberikan nilai tambah terhadap limbah tetapi juga ramah lingkungan. Nilai tambah yang dimaksud adalah (1) dihasilkan produk *CB* dari limbah pemotongan batu pipih dan sekam padi; (2) dihasilkan produk samping berupa asap cair (*liquid smoke*) dari pendinginan asap pembakaran sekam padi untuk menghasilkan silika amorp abu sekam padi; dan (3) dihasilkan batako interlocking yang lebih irit dalam penggunaan semen untuk mortar pengikat.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian pengembangan cara pembuatan bubuk *cementious binder* (*CB*) berbahan baku bubuk batu pipih Tejakula, bubuk superhalus silika amorp abu sekam padi (*rice husk ash ultra fine amorphous silica* atau *RHA-UFAS*) dan bubuk CaO. adalah komparasi pembuatan *CB* dengan berbagai komposisi triaksial blend bubuk batu pipih – RHA – UFAS – CaO dan pengaruhnya terhadap sifat-sifat fisis batako yang dihasilkan seperti penampakan luar, porositas dan kuat tekan. Parameter yang ditentukan adalah (1) karakteristik dari *CB* (ditinjau dari penampakan luar, porositas dan kuat tekan dari plat beton yang dihasilkan dari penggunaan *CB* berbagai komposisi dengan BHBP dan CaO; dan (2) karakteristik dari BI yang dihasilkan dari berbagai perbandingan *CB* dan pasir dengan kontrol kualitas pasir sesuai SNI, air dan proses serta kondisi pencetakannya. Karakteristik dari *liquid smoke* (LS) sebagai produk sampingnya menjadi objek tambahan dari penelitian ini. Rangkaian teknologi proses produksi dari pengolahan bahan baku, hingga menghasilkan *CB* dan BI terbaik serta produk tambahan LS yang optimal dan ramah lingkungan merupakan objek hilir dari penelitian pengembangan ini. Sekam padi yang diambil dari penggilingan padi dibersihkan dari kotoran padat, dicuci dan dikeringkan. Sekam padi yang kering lalu ditumbuk halus dan di-bleaching menggunakan larutan HCl 3 M pada suhu kamar selama 1 jam lalu dicuci dengan aquades berkali-kali hingga air cucian netral (pH mendekati 7). Bubuk sekam padi yang telah dibleaching kemudian dikeringkan dan dibakar pada furnace pada suhu 700°C selama 3 jam lalu pada suhu 800°C selama 3 jam sehingga diperoleh bubuk putih yang halus. Bubuk hitam kemudian dicuci dengan HCl berturut-turut dengan konsentrasi 1 M, 2 M dan 3M untuk melarutkan oksida-oksida logam pengotor. Bubuk yang telah dicuci dengan HCl selanjutnya dicuci kembali dengan aquades hingga air cucian netral. Bubuk silika hitam yang telah dicuci dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C sampai tercapai berat kering (massa tetap). Bubuk RHA-UFAS yang telah dikeringkan dipergunakan sebagai bahan untuk membuat *Cementious Binder* (*CB*)

Limbah pengolahan batu pipih di Pusat pengolahan Batu Pipih Suka Alam, dusun Alasari, Desa Pacung, Kecamatan Tejakula diambil secara acak dan dibersihkan dari debu dan kotoran organik. Batu pipih

dihancurkan dengan menggunakan *hammer mill* hingga menjadi bubuk halus dan selanjutnya dicampurkan dengan semen portland dengan perbandingan 1 : 1, campuran bubuk batu pipih ini kemudian disebut dengan bubuk halus batu pipih (BHBP). BHBP selanjutnya diuji ukuran butirannya dan dibandingkan dengan ukuran butiran pasir halus sesuai standar SNI. Cementious binder (CB) dibuat dengan cara mencampurkan (blending) secara triaksal blend bubuk BHBP – RHA-UFAS – CaO dengan berbagai komposisi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Triaksal Blend Bubuk BHBP – RHA-UFAS – CaO

| No | Kode Sampel Percobaan | Perbandingan (% massa) triaksal blend bubuk BHBP–RHA-UFAS– CaO |          |     |
|----|-----------------------|--|----------|-----|
|    |                       | BHBP   | RHA-UFAS | CaO |
| 1  | CB1                   | 90   | 5        | 5   |
| 2  | CB2                   | 80   | 10       | 10  |
| 3  | CB3                   | 80   | 5        | 15  |
| 4  | CB4                   | 80   | 15       | 5   |
| 5  | CB5                   | 70   | 15       | 15  |

Campuran diblending menggunakan blender selama 4 jam, lalu dipanaskan berturut-turut pada suhu 100°C masing-masing selama 2 jam. Selanjutnya dibuat plat beton ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm dengan menggunakan campuran CB : pasir = 1 : 6 dengan fraksi air (fa) 0,4 sesuai dengan SNI. Masing-masing komposisi dibuat 10 plat beton. CB sebagai pengganti semen dicampur dengan pasir dan air (fa = 0,4) dan dibuat 5 (lima) variasi komposisi dan 1 (satu) komposisi kontrol yang menggunakan semen dan pasir. Penggunaan komposisi pasir:CB atau semen dan air sesuai dengan SNI dengan yaitu semen atau CB : pasir = 1 : 6 dengan fraksi air 0,4. Sebanyak 25 batako interlocking dibuat untuk tiap-tiap komposisi.

Tabel 2. Komposisi Batako *Interlocking*

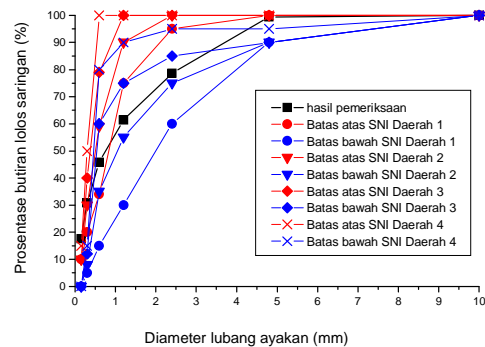
| No | Kode Sampel Percobaan | Perbandingan (massa) CB– pasir – kerikil |       |       |
|----|-----------------------|--|-------|-------|
|    |                       | CB                                       | pasir | Semen |
| 1  | BI1                   | 1  | 5     | 0     |
| 2  | BI2                   | 1  | 6     | 0     |
| 3  | BI3                   | 1  | 7     | 0     |
| 4  | BI4                   | 1  | 8     | 0     |
| 5  | BI5                   | 1  | 9     | 0     |
| 6  | BI-K                  | 0  | 6     | 1     |

Sebanyak 5 plat beton benda uji untuk tiap-tiap komposisi dilakukan (a) pengamatan terhadap penampakan luarnya yaitu penampakan permukaan (kerataan dan kehalusan) dan ketajaman sisi-sisi dan siku-sikunya diukur kuat tekannya, (b) pengujian porositas dengan menimbang berat kering dan berat basah (setelah direndam satu hari) benda uji dan menghitung selisih berat

basah dan berat kering di bagi dengan berat kering dikalikan 100 %, dan (c) pengukuran kuat tekan terhadap semua kelompok benda uji. Kualitas terbaik kelompok plat beton dari 5 komposisi CB dipilih sebagai komposisi CB terbaik untuk pembuatan batako interlocking. Batako interlocking masing-masing 5 buah hasil tiap-tiap komposisi pasir : CB dan pasir : semen juga diukur kuat tekannya. Cara pengukuran kuat tekan disesuaikan dengan SOP di Lab Fakultas Teknik Sipil UNUD.

### 3 Hasil Penelitian dan Pembahasan

Penelitian ini diawali dengan pemeriksaan kualitas pasir Karangasem yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan batako. Pemeriksaan dilakukan terhadap kandungan lumpur dan gradasi ukuran partikel pasir. Kandungan lumpur pasir Karangasem adalah 4,2 %. Hal ini tergolong kualitas I menurut SNI. Hasil pemeriksaan gradasi ukuran partikel pasir yang dibandingkan dengan SNI dapat digambarkan sebagai berikut.

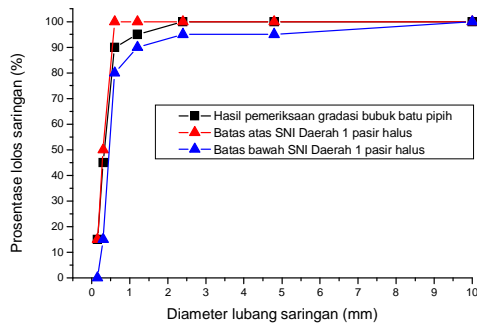


Gambar 1. Gradasi Ukuran Partikel Pasir dan Perbandingannya dengan SNI

Gradasi ukuran partikel pasir Karangasem yang digunakan sebagai bahan baku menunjukkan data bahwa yang lolos saringan atau ayakan yang sangat kecil (diameter 0,3 mm dan 0,15 mm) berada di atas SNI daerah 1 (pasir halus), sedangkan untuk ukuran partikel yang lebih besar (yang lolos saringan 0,6 mm ke atas) berada pada kisaran daerah 2 dan 3 (di antara pasir agak kasar sampai pasir agak halus).

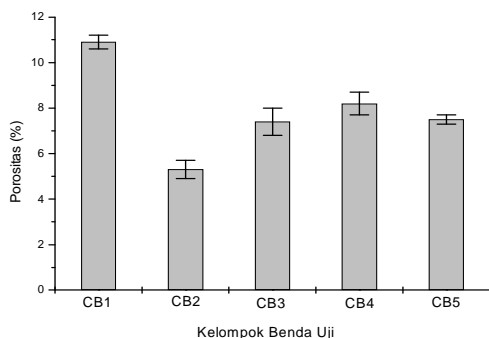
*Ultrafine amorphous silica* (UFAS) dibuat dari sekam padi. Massa sekam padi kering yang diambil dari lima lokasi dan dicampur menjadi satu = 5010 g. Abu putih yang diperoleh = 605 g, sehingga randemennya sekitar 16% m/m. Pengolahan 605 g abu putih hasil pembakaran sekam padi menjadi UFAS memperoleh massa bubuk halus silika putih sebanyak 512 g atau sebanyak 84,6% m/m dari abu sekam atau sebesar 10,2% m/m dari sekam padi kering.

Bubuk halus batu pipih ((BHBP) dibuat dengan menghancurkan kepingan batu pipih menggunakan ball-mill dengan ukuran butiran setara dengan pasir halus namun lebih homogen dan ditambahkan semen portland dengan perbandingan 1:1. Ukuran butiran BHBP dibandingkan dengan ukuran butiran pasir halus seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Gradasi Ukuran Partikel Bubuk Batu Pipih Dibandingkan dengan SNI untuk Pasir Halus

Benda uji berupa plat beton atau batako dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm dengan berbagai komposisi penyusun *cementious binder* (CB) yang terbuat dari triaksial blend bubuk halus batu pipih (BHBP), UFAS dan CaO dengan perbandingan CB : pasir tetap yaitu 1: 6. Sebanyak 5 komposisi CB dan masing-masing komposisi CB telah dibuat benda uji 25 buah, masing-masing sebanyak 5 buah diuji penyerapan airnya (pengujian porositas). Semua benda uji penampakan luarnya (sudut dan sisi) akurat, rata dan dengan kontur permukaan yang halus. Hasil pengujian porositas dirangkum dalam Gambar 3. Komposisi CB2 yaitu 80 % BHBP, 10% UFAS dan 10% CaO menghasilkan porositas antara Kualitas I dan II SNI.



Catatan: Komposisi Terbaik

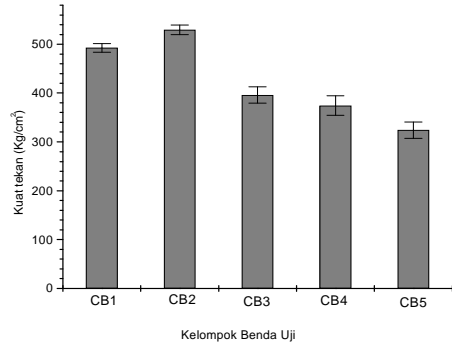
CB2 = BHBP : UFAS : CaO = 80

| Mutu | Kuat Tekan Rata-rata (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Ketahanan aus Rata-rata (mm/menit) | Penyerapan air (%) |
|------|--|------------------------------------|--------------------|
| I    | 400  | 0,090                              | 3                  |
| II   | 300  | 0,130                              | 5                  |
| III  | 200  | 0,180                              | 7                  |

Sumber: SNI-03-0691-1989

Gambar 3. Porositas Benda Uji CB Pengukuran kuat tekan terhadap benda uji terhadap kelima kelompok benda uji untuk pengujian komposisi CB yang terbaik (tiap

tiap kelompok diuji 5 benda uji). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa benda uji kelompok CB1 dan CB2 termasuk kualitas I SNI, sedangkan kelompok benda uji CB3, CB4 dan CB5 termasuk kualitas II SNI.



Catatan: Komposisi Terbaik

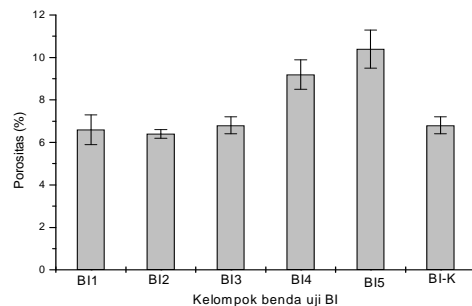
CB2 = BHBP : UFAS : CaO = 80

| Mutu | Kuat Tekan Rata-rata (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Ketahanan aus Rata-rata (mm/menit) | Penyerapan air (%) |
|------|--|------------------------------------|--------------------|
| I    | 400  | 0,090                              | 3                  |
| II   | 300  | 0,130                              | 5                  |
| III  | 200  | 0,180                              | 7                  |

Sumber: SNI-03-0691-1989

Gambar 4. Kuat Tekan Benda Uji CB

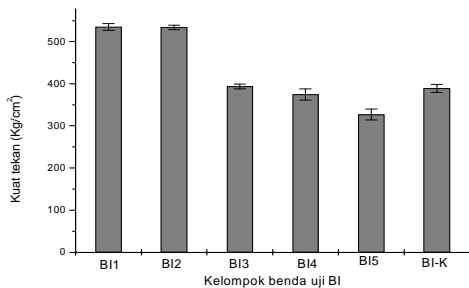
Berdasarkan hasil pengujian tersebut disimpulkan bahwa benda uji dengan komposisi CB2 memiliki kuat tekan terbaik dan tergolong kualitas I SNI. Grafik hasil pengukuran kuat tekan rerata benda uji tiap kelompok CB disajikan pada Gambar 4. Benda uji batako interlocking (BI), yang menggunakan CB2 sebagai CB yang relatif terbaik berdasarkan pengujian 5 di atas, telah dibuat dengan 5 kelompok uji variasi komposisi CB: pasir yaitu B11 (1:5), B12 (1:6), B13 (1:7), B14 (1:8), B15 (1:9) dan kelompok kontrol (BI-K) yaitu komposisi semen (pengganti CB): pasir adalah 1:6. Pengujian porositas benda uji BI menunjukkan bahwa penyerapan air terbaik dihasilkan B12 yaitu BI yang dibuat dari CB terbaik pada komposisi CB dan pasir yaitu 1:6. Dibandingkan dengan benda uji kontrol (BI-K) yaitu BI yang dibuat dari semen dan pasir dengan perbandingan 1 : 6 sesuai SNI diperoleh bahwa B12. Hasil ini juga tidak berbeda nyata dengan B11 yaitu perbandingan CB dengan pasir 1:5.



Gambar 5. Porositas Benda Uji BI

Pengukuran kuat tekan benda uji BI menunjukkan bahwa kelompok benda uji BI1 (komposisi CB : pasir = 1 : 5) memiliki kuat tekan yang hampir sama dengan kelompok benda uji BI2 (komposisi CB : pasir = 1 : 6) dan kedua kelompok benda uji tergolong kualitas I SNI (kuat tekan lebih besar dari 400 Kg/cm<sup>2</sup>). Jika dibandingkan dengan kelompok kontrol BI-K yang menggunakan semen : pasir = 1 : 6 dengan kuat tekan mendekati 400 Kg/cm<sup>2</sup> dan ditinjau dari kuat tekan yang dihasilkan dan efisiensi penggunaan semen, maka formulasi komposisi CB : pasir = 1 : 6 pada kelompok benda uji BI2 dipilih sebagai komposisi terbaik.

Temuan penelitian yang akan dibahas lebih lanjut dalam sub bab ini adalah: (1) Kualitas plat beton dan batako *interlocking* yang dihasilkan dengan menggunakan CB yang terbuat dari bubuk batu pipih, semen, bubuk batu gamping (CaO) dan silika sekam padi; (2) Efisiensi penggunaan CB yang terbuat dari bubuk batu pipih; dan (3) Rancang bangun teknologi tepat guna pembuatan BI dengan memanfaatkan limbah pengolahan batu pipih berbantuan semen, batu gamping (CaO) dan silika abu sekam padi.



Gambar 6. Kuat Tekan Benda Uji BI

Hasil pengujian tiga parameter kualitas benda uji plat beton menunjukkan konsistensi di antara ketiga parameter tersebut yaitu benda uji CB2 (dengan komposisi CB2 yaitu BHBP:UFAS:CaO = 80:10:10, dimana BHPP merupakan campuran bubuk batu pipih dan semen dengan perbandingan 1:1) memiliki kualitas terbaik di antara semua kelompok benda uji dan tergolong kualitas I sesuai SNI ditinjau dari parameter penampakan luar dan kuat tekan dan kualitas II ditinjau dari porositas. Untuk melihat komponen mana yang berpengaruh terhadap kualitas beton dapat ditelusuri dari komposisi kandungan penentu utama kekuatan CB diantaranya adalah komposisi kandungan SiO<sub>2</sub> dan CaO, yang dalam percobaan ini sebagai parameter yang divariasikan (variabel bebas) berdasarkan hasil pengujian sebelumnya

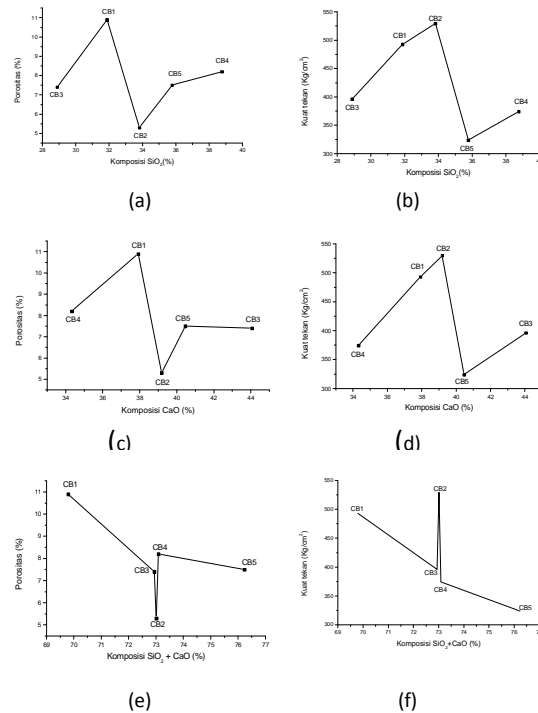
(Karyasa, 2009a dan 2009b). Hasil perhitungan komposisi SiO<sub>2</sub> dan CaO untuk kelompok benda uji CB disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Komposisi SiO<sub>2</sub> dan CaO dari Benda Uji CB

| Material                       | SiO <sub>2</sub> (%) | CaO (%) |
|--------------------------------|----------------------|---------|
| UFAS <sup>1</sup>              | 98,8                 | 0,7     |
| CaO <sup>2</sup>               | 0                    | 98      |
| Batu Pipih <sup>3</sup>        | 39,36                | 10,3    |
| Semen <sup>4</sup>             | 20,5                 | 63      |
| CB1 (BHBP:UFAS:CAO = 90:5:5)   | 31,877               | 37,92   |
| CB2 (BHBP:UFAS:CAO = 80:10:10) | 33,824               | 39,19   |
| CB3 (BHBP:UFAS:CAO = 80:5:15)  | 28,884               | 44,055  |
| CB4 (BHBP:UFAS:CAO = 80:15:5)  | 38,764               | 34,325  |
| CB5 (BHBP:UFAS:CAO = 70:15:15) | 35,771               | 40,46   |

Catatan: <sup>1</sup>Karyasa (2009b); <sup>2</sup>Asumsi dari tingkat kemurnian CaO teknis di laboratorium; <sup>3</sup>Karyasa (2009a); <sup>4</sup>nilai tengah dari prosentase oksida menurut Wibowo (2007).

Kalau data prosentase SiO<sub>2</sub> dan CaO dihubungkan dengan data porositas dan kuat tekan dari benda uji CB, maka tidak dapat ditarik sebuah hubungan linear antara prosentase SiO<sub>2</sub> dan CaO dengan porositas dan kuat tekan (Gambar 8). Hal ini berarti pada posisi komposisi SiO<sub>2</sub>: CaO = 33,8 : 39,2 terjadi proses agregasi optimal yang menyebabkan porositas terendah dan kuat tekan tertinggi.



Gambar 7. Grafik Hubungan Komposisi SiO<sub>2</sub> dan CaO terhadap Porositas dan Kuat Tekan

Efisiensi penggunaan CB sebagai pengganti semen pada pembuatan batako dengan komposisi CB2 : pasir yaitu 1 : 6 (seperti dalam SNI) yang menghasilkan kualitas terbaik dapat dihitung sebagai berikut. Jika diasumsikan harga semen adalah A dan untuk berat yang sama harga bubuk batu pipih 0,5A, harga UFAS 0,75A serta harga batu gamping 0,75A, maka harga CB2 dengan berat yang sama dengan semen adalah  $0,4x A + 0,4x 0,5A + 0,1x 0,75A + 0,1x 0,75A = 0,75A$ . Hal ini berarti bahwa terdapat efisiensi sebesar 25%. Efisiensi ini lebih besar lagi dengan tambahan pendapatan dari peningkatan harga akibat peningkatan kualitas batako, pemberian nilai tambah terhadap limbah pengolahan batu pipih dan limbah sekam padi.

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan di atas sebuah rancang bangun teknologi tepat guna pembuatan batako interlocking dengan memanfaatkan batu pipih sebagai bahan CB dapat disusun sebagai berikut. Pertama, bubuk halus batu pipih disiapkan dengan menghancurkan kepingan-kepingan sisa pengolahan batu pipih menggunakan hammer mill, kemudian dicampur dengan semen portland dengan komposisi 1 : 1, yang selanjutnya disebut bubuk halus batu pipih (BHBP). Kedua, menyiapkan *ultra fine amorphous silica* (UFAS) dengan mencincang halus sekam padi, me-leaching dengan larutan HCl encer dengan konsentrasi 3 M lalu dibilas dengan air dan dikeringkan dan selanjutnya dibakar hingga menghasilkan bubuk halus abu sekam padi yang berwarna putih, sementara selama pembakaran asap pembakaran ditampung dan didinginkan dengan sebuah alat kondensasi sederhana untuk mendapatkan asap cair (*liquid smoke*). Bubuk halus abu sekam padi selanjutnya dicuci dengan HCl encer berturut-turut dengan konsentrasi 3 M, 2 M dan 1 M, lalu dibilas dan digiling dengan *ball mill* sehingga mendapatkan bubuk amorp silika super halus (UFAS); Ketiga, menyiapkan bubuk halus batu gamping dengan membakar batu kapur atau membeli langsung di pasaran dan digiling. Keempat, CB dibuat dengan mencampurkan BHBP dengan UFAS dan CaO dengan perbandingan 80:10:10. Setelah pencampuran ketiga komponen tersebut, selanjutnya campuran tersebut diaduk (*blending*) hingga homogen yang selanjutnya disebut *triaksial blend* CB. Kelima, CB dicampur dengan pasir dengan perbandingan CB : pasir adalah 1 : 6 dan selama pencampuran ditambahkan air dengan fraksi air per CB adalah 0,4.

Keenam, Campuran CB – pasir – air dicetak dengan alat cetak hidraulik batako interlocking. Cetakan batako interlocking ini sedikit berbeda dengan batako biasa, bedanya terletak pada bentuknya yang dapat saling mengait satu sama lainnya seperti bentuk ‘lego’ sehingga dapat disebut batako ‘lego-like’. Cara pencetakan batako ini sama dengan cara yang biasa dilakukan atau seperti pada pedoman yang tertera pada alat cetakan batako hidraulik tersebut. Mesin cetakan dapat dimodernisasi sesuai kebutuhan dan kapasitas produksi.

#### 4. Simpulan dan Saran

Simpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian adalah: (1) telah berhasil dikembangkan CB secara *triaksial blend* bubuk halus batu pipih (BHBP) – bubuk super halus silika amorp dari abu sekam padi (UFAS) – bubuk batu gamping (CaO) dengan komposisi 80:10:10; dan (2) dihasilkannya rancang bangun teknologi pembuatan *batako interlocking* yang lebih irit dalam penggunaan semen untuk mortar pengikat dengan efisiensi sebesar 25% akibat penggantian semen selain nilai tambah berupa pemberian nilai tambah limbah pemotongan batu pipih dan sekam padi berupa asap cair (*liquid smoke*) dari pendinginan asap pembakaran sekam padi untuk menghasilkan silika amorp abu sekam padi.

Temuan penelitian ini perlu disempurnakan dengan berbagai penelitian lanjutan di antaranya adalah: (1) pengujian lebih lanjut terhadap kualitas CB dan batako interlocking yang dihasilkan sesuai dengan SNI seperti uji keletihan bahan; dan (2) penelitian lanjutan untuk menjawab pertanyaan mengapa terjadi anomali pada komposisi SiO<sub>2</sub> dan CaO tertentu terjadi agregasi yang menghasilkan kuat tekan maksimal dan porositas minimal sehingga terungkap pengaruh komposisi senyawa-senyawa kimia penyusun CB terhadap kualitas agregasi sementasi CB-pasir-air. Selanjutnya, kajian yang berkaitan dengan analisis pasar dan kewirausahaan batako interlocking perlu mendapatkan perhatian serius, demikian juga intermediasi UMKM industri batako dan paving sehingga temuan penelitian ini bermanfaat.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian Universitas Pendidikan Ganesha atas pendanaan penelitian ini dari Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) dengan SPK Nomor: 108/UN48.14/PL/2011.

## 6. Pustaka

- Balipost. (2003). *Dulu Bahan Baku Pakan Ternak Kini Sekam Jadi Energi Hijau*, 3 September 2003.
- Conradt, R., Pimkhaokham, P., Leela- Adosorn, U. (1992). Nano-structured silica from rice husk, *J. Non-Crystalline Solids*, 145,75-79.
- Karyasa, I W., & Walter. D. (2004). X-ray Powder Diffraction Study on High Temperature Vacuum Sintered Silicon Carbide (SiC) Synthesized from Carbonized Rice Husk. *PubScieAEIF*. 9, 1-7.
- Karyasa, I. W., (2009a). Studi X-Ray Fluoresence dan X-Ray Diffraction Pada Bidang Belah Batu Pipih Asal Tejakula. *Laporan Penelitian Mandiri*. Singaraja: Undiksha. Publikasi in preparation.
- Karyasa, I. W. (2009b). Pengembangan material Anorganik Terbarukan: Pembuatan Ultrafine Amorphous Silica (UFAS) dari Jerami dan Sekam Padi. *Laporan Penelitian Lanjut*. Singaraja: Undiksha. Publikasi in preparation.
- Karyasa, I. W., Sila, I N., Widhiastini. M. A. (2010a). IblKK Pigmen Anorganik Alami dan Industri Keanova Turunannya. *Laporan Program P2M*. DP2M DIKTI, Kemendiknas. Dipublikasi dalam Majalah Aplikasi Ipteks Ngayah, Edisi 1, Nomor 1, Tahun 2010 dan Edisi 2, Nomor 2 Tahun 2011.
- Karyasa, I.W., Vivi Oviantari, N.M., Artawan, I K. (2010b). Pengembangan Teknologi Pembuatan Bata Merah Unggul dan Tahan Lumut Berbantuan Pigmen Anorganik Alami dan Silika Abu Sekam Padi, Tahap Implementasi di Sentra Industri. *Laporan Penelitian Hibah Bersaing*. DP2M DIKTI. Kemendiknas. HAKI in preparation.
- Real, C., M. D. Alcala and J. M. Criado. 1996. Preparation of Silica from Rice Husks, *J. Am. Ceram. Soc.*, 79[8], 2012-16.
- Tjokrodinuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Naviri
- Underwood, N. N. & Earnshaw. A. (2003). *Chemistry of the Elements*, Second Edition, Elsevier, Ltd., Amsterdam.
- Wada, S., Mosungnoen, W., Hemachandra, K. Jarunworuluck, H.(2005). Survey of the Research on the Utilization of Rice Husk and Rice Husk Silica. *Proceeding of the First Workshop on the Utilization of Rice Husk and Rice Husk Silica*, September 19, 2005. Chulalongkorn University Thailand.
- Wibowo, M. T. (2007). Pengaruh Penambahan Trass Muria terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Serapan Air pada Mortar. *Skripsi*. Semarang: UNNES