

PENGUNAAN SERBUK BATU TABAS SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN DALAM PEMBUATAN BETON

I W. Intara¹, I M. Alit K. Salain² dan N. M. Anom Wiryasa²

Abstrak : Penelitian tentang penggunaan serbuk batu tabas (SBT) sebagai pengganti sebagian semen Portland (SPI) telah dilaksanakan dengan menggunakan benda uji beton berbentuk silinder $\varnothing = 150$ mm dan $h = 300$ mm. Benda uji dibuat dengan menggunakan perbandingan perekat : pasir : batu pecah dalam perbandingan berat 1 : 1.93 : 2.67 dan faktor air perekat sebesar 0.52. Persentase penggantian semen dengan serbuk batu tabas : 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Distribusi butiran pasir dan batu pecah dirancang menurut SNI 03-2384-2000; gradasi zona 2 untuk agregat halus dan gradasi dengan diameter maksimum 20 mm untuk agregat kasar. Pengujian yang dilakukan menyangkut uji tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan permeabilitas beton pada umur 28 dan 56 hari dengan menggunakan masing-masing lima buah benda uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa serbuk batu tabas yang dipelajari menunjukkan reaktivitas pozzolanik yang baik ditinjau dari segi kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan permeabilitas sehingga layak dipertimbangkan sebagai komponen dari semen Portland komposit. Perkembangan kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan permeabilitas yang dihasilkan beton dengan perekat berupa campuran SBT dan SPI tergantung dari jumlah SBT yang digunakan dalam perekat campuran dan waktu hidrasi. Efek pozzolanik dari SBT sebagai pengganti sebagian SPI baru dapat terlihat pada umur 56 hari. Penggunaan optimal dari SBT sebagai pengganti sebagian semen dalam aplikasi beton berkisar antara 5-10% sehingga mampu menunjukkan kinerja yang setara dan atau melampaui kinerja dari beton dengan perekat 100% SPI.

Kata-kata kunci: serbuk batu tabas, kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah, permeabilitas

THE USE OF STONE DUST AS A PARTIAL REPLACEMENT OF ORDINARY PORTLAND CEMENT IN CONCRETE PRODUCTION

Abstract : Research on the use of stone dust (SDT) as a partial replacement of Ordinary Portland Cement (OPC) has been carried out by using cylindrical concrete specimens with $\varnothing = 150$ mm and $h = 300$ mm. Specimens were made by using the ratio, in weight, of cementitious material : sand : crushed stone of 1.00 : 1.93 : 2.67. The water cementitious material ratio is of 0.52. The cementitious material is a mixture of OPC and SDT. The percentage of OPC replacement by SDT varied from 0%-25%. The distribution of grains of sand and crushed stone are designed according to SNI 03-2384-2000: gradation zone 2 for fine aggregate and gradation with a maximum diameter of 20 mm for coarse aggregate. The tests of compressive strength, elastic modulus, tensile strength and permeability on the cylindrical specimens were realized at 28 and 56 days. The result indicates that SDT shows a good pozzolanic reactivity in terms of compressive strength, elastic modulus, tensile strength and permeability. Therefore, it can be used as a component of Portland Cement Composite. The development of compressive strength, elastic modulus, tensile strength and permeability of concrete produced with a mixture of OPC and SDT depends on the amount of SDT used in the mixture and hydration time. The pozzolanic effect of SDT can only be seen at the age of 56 days. The optimal use of SDT as a partial replacement of OPC in concrete applications varied from 5%-10%.

Keywords: *stone dust, compressive strength, elastic modulus, tensile strength, permeability*

¹ Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Udayana, Denpasar

² Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Udayana, Denpasar

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banyak usaha kerajinan batu tabas di Bali yang menggunakan dan mengolah batu tabas yang dibentuk untuk menjadi hiasan maupun ornamen bangunan tradisional Bali. Selain menghasilkan produk tersebut, kegiatan ini menyisakan limbah yang cukup banyak (mencapai sekitar 30% dari batu asalnya) baik berupa potongan-potongan kecil maupun dalam bentuk bubukan batu tabas. Residu ini dalam kondisi basah berwarna hitam dan jika kering berwarna keabu-abuan. Saat ini, belum ada upaya untuk memanfaatkan limbah ini secara massif, terutama yang dalam bentuk bubuk. Biasanya limbah tersebut ditimbun di areal kerja atau dibuang di tepi sungai ataupun selokan yang mengakibatkan pendangkalan dan atau pengurangan luas penampang basah efektif dari sungai/selokan. Bila hal ini dibiarkan tentu nantinya akan menyebabkan kerusakan lingkungan yang lebih luas. Dengan demikian perlu dicari cara untuk menanggulangi permasalahan ini.

Penelitian tentang penggunaan serbuk batu tabas sebagai bahan bersifat perekat (*cementitious material*) dalam campuran beton belum pernah dilakukan. Padahal bila ditinjau dari senyawa pembentuk batu tabas ternyata sangat mirip dengan yang terkandung di dalam beberapa *cementitious material* seperti: *fly ash*, *silicafume* dan *slag*. Senyawa kimia pembentuk batu basalt yaitu: Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , K_2O , MnO_2 , MgO , dan CaO [Dinas Pertambangan Jatim, 2008].

Penelitian tentang penggunaan bahan bersifat perekat sebagai pengganti sebagian semen Portland telah banyak dilakukan [Salain, 2007]. Umumnya, penggunaan yang optimal dari bahan tersebut berkisar antara 10-30% dari berat total perekat (Semen Portland dan bahan bersifat perekat).

Memperhatikan permasalahan serta informasi yang telah diuraikan sebelumnya, dilaksanakan penelitian tentang penggunaan serbuk batu tabas sebagai bahan pengganti sebagian semen Portland. Efektifitas penggantian sebagian semen Portland diukur dari perbandingan kinerja dari beton yang dibuat dengan menggunakan perekat campuran semen Portland dan serbuk batu tabas dengan yang menggunakan perekat semen Portland saja.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui efektifitas serbuk batu tabas sebagai pengganti sebagian semen Portland terhadap kinerja beton.

1.3 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini dapat diketahui potensi dari serbuk batu tabas tersebut untuk dimanfaatkan sebagai komponen dari semen Portland komposit.

2. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

2.1 BAHAN

Penelitian yang dilakukan ini menggunakan bahan-bahan campuran beton yang terdiri dari air, perekat dan agregat halus. Ketentuan dari masing-masing bahan tersebut diuraikan sebagai berikut.

Air yang digunakan untuk mencampur beton diambil dari saluran PDAM yang ada di Laboratorium Teknologi Bahan, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Untuk perekat hidrolik digunakan campuran dari semen Portland tipe I dan serbuk batu tabas.

Untuk agregat halus digunakan pasir alami yang berasal dari Karangasem yang mana susunan butirannya dirancang memenuhi gradasi zone 2 menurut SNI 03-2834-2000. Agregat kasar berupa batu pecah dengan ketentuan susunan butirannya dirancang memenuhi gradasi untuk ukuran butiran maksimum 20 mm sesuai SNI 03-2834-2000.

Dibuat 5 (lima) macam beton dengan perbandingan dalam satuan berat antara bahan perekat : agregat halus : agregat kasar sebesar 1,00 : 1,93 : 2,67, dengan faktor air perekat = 0,52. Perbandingan campuran ini diperoleh dari perhitungan rancangan campuran beton dengan $f'c = 25$ MPa.

Perekat berupa campuran semen Portland tipe I (SPI) dan serbuk batu tabas (SBT). Kandungan dari SBT dalam perekat bervariasi : 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% terhadap berat total perekat. Sebagai kontrol dibuat 1 (satu) macam beton lagi dengan komposisi yang sama kecuali perekatnya

berupa 100% SPI. Karakteristik dari masing-masing beton diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik Perekat Pada Beton

Beton	Perekat
B1	95% SPI + 5% SBT
B2	90% SPI + 10% SBT
B3	85% SPI + 15% SBT
B4	80% SPI + 20% SBT
B5	75% SPI + 25% SBT
B6	100% SPI

2.2 Metode

Pelaksanaan penelitian dibagi dalam beberapa tahap yaitu persiapan, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengumpulan data dan analisis data.

Tahapan persiapan meliputi persiapan alat, pemeriksaan bahan termasuk pembuatan jadwal pelaksanaan. Peralatan yang digunakan seperti alat pencampur, cetakan silinder 30 mm x 150 mm, mesin penggetar, tempat perawatan dan alat uji tekan, alat pengukuran perpendekan, uji tarik, dan uji permeabilitas diperiksa kelayakan kondisi melaksanakan penelitian.

Pemeriksaan bahan menyangkut pemeriksaan karakteristik dari bahan dasar yang digunakan dalam penelitian seperti antara lain berat jenis, berat satuan, rancangan gradasi agregat halus dan agregat kasar yang akan dipergunakan dalam setiap campuran dan lain-lainnya.

Pencampuran bahan dilakukan dengan mesin pencampur Mixer dengan mengikuti tata cara yang standar. Dalam penelitian ini agregat sebelum dicampur disiapkan dalam kondisi SSD. Jumlah benda uji yang disiapkan disesuaikan dengan umur uji serta jumlah benda uji per pengujian.

Pengukuran kekuatan dilaksanakan pada umur 28 dan 56 hari dengan menggunakan masing-masing 5 (lima) buah silinder 30 mm x 150 mm untuk setiap umur uji. Dengan demikian benda uji yang diperlukan untuk masing-masing perlakuan adalah 10 (sepuluh) buah, sehingga total silinder 30 mm x 150 mm yang dibuat secara

keseluruhan adalah 120 (seratus dua puluh) buah. Uji kuat tekan dan pengukuran perpendekan dilakukan simultan sehingga menggunakan 1 (satu) benda uji demikian dengan uji kuat tarik dilakukan dengan benda uji yang sama dengan pengukuran koefisien permeabilitas.

Benda uji yang telah dicetak dibiarkan dalam cetakannya selama 24 jam dan setelah itu dibuka dari cetakannya untuk selanjutnya mendapatkan perawatan. Perawatan dilaksanakan dengan merendam benda uji dalam air sampai dengan waktu yang ditentukan untuk pengujian : 28 dan 56 hari.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Data yang dikumpulkan berupa beban hancur untuk kuat tekan, beban dan perpendekan untuk menentukan modulus elastisitas, beban hancur untuk kuat tarik belah dan debit dan ketinggian rembesan untuk menentukan koefisien permeabilitas. Semuanya itu diperoleh dari hasil pengujian dari benda uji silinder sesuai dengan umur uji yang ditetapkan. Sebelum pengujian benda uji ditimbang dan diukur sisi-sisinya.

Dari informasi nilai kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan koefisien permeabilitas yang dihasilkan untuk setiap kelompok benda uji dan tiap umur pengujian selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan perbandingan kekuatan dari beton yang dibuat dengan perekat campuran dan beton dengan perekat SPI. Perbandingan kekuatan yang dihasilkan juga dianalisis dari sisi waktu hidrasi.

Untuk keperluan menarik kesimpulan dilakukan pembahasan yang melibatkan parameter yang diuji maupun teori-teori terkait yang ada di dalam literatur. Untuk memudahkan pemahaman terhadap pembahasan, hasil uji akan ditampilkan dalam bentuk tabel-tabel maupun kurva-kurva.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Bahan

- Air

Air yang digunakan untuk mencampur beton adalah air PDAM yang ada di laboratorium Teknologi Bahan. Tidak dilakukan pemeriksaan terhadap air tersebut dengan

asumsi telah layak digunakan untuk mencampur beton.

• Perekat

Bahan pembentuk perekat yang digunakan berupa SPI yang tersedia di pasaran serta sudah memenuhi standar industri yang berlaku dan SBT yang diambil dari sisa gergajian batu tabas pada pengerajin di Selat Duda Karangasem. Pada penelitian ini, pemeriksaan terhadap SPI hanya meliputi berat satuan yang hasilnya diperoleh sebesar 1,24 kg/l. Untuk SBT dilaksanakan pengukuran pada serbuk yang lolos ayakan No. 200 terhadap berat satuan, berat jenis kondisi SSD dan penyerapan yang hasilnya berturut-turut 1,26 kg/l, 2,61 dan 5,26%.

• Agregat

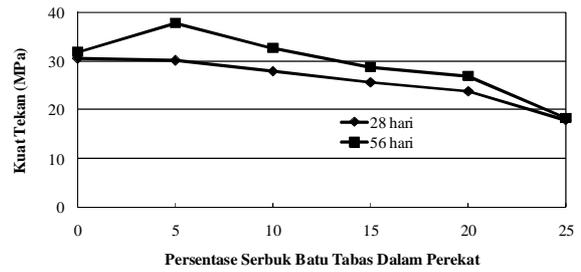
Pemeriksaan terhadap kadar lumpur, berat satuan, berat jenis SSD dan penyerapan dari agregat halus dan agregat kasar memberikan hasil seperti ditampilkan pada Tabel 2. Pada tabel tersebut juga ditampilkan hasil daya tahan agregat kasar terhadap pembubukan yang dilakukan dengan alat uji Los Angeles.

Tabel 2 Karakteristik Agregat Halus Dan Agregat Kasar

Parameter	Agregat Halus	Agregat Kasar
Kadar lumpur (%)	1,44	0,30
Berat satuan (kg/l)	1,58	1,21
Berat jenis SSD	2,56	2,32
Penyerapan (%)	4,69	3,93
Kekerasan dengan Los Angeles (%)	-	35,56

3.2 Kuat Tekan

Hasil uji kuat tekan beton untuk setiap perlakuan dari perekat untuk setiap umur uji ditampilkan pada Gambar 1.



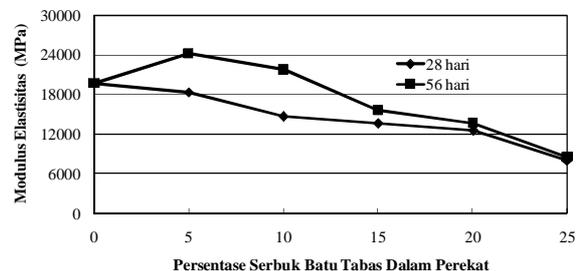
Gambar 1 Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Kandungan Serbuk Batu Tabas Dan Umur Hidrasi

Data menunjukkan bahwa pada umur 28 hari, untuk setiap penggantian sebagian SPI dengan SBT membuat kuat tekan beton yang dihasilkan lebih rendah dari pada beton yang dibuat dengan 100% SPI (B6). Kuat tekan beton semakin rendah dengan meningkatnya kandungan SBT dalam perekat.

Namun demikian dengan bertambahnya umur hidrasi, pada umur 56 hari, penggunaan SBT sebesar 10% dalam perekat mampu menghasilkan kuat tekan beton yang setara dengan kuat tekan beton yang dibuat dengan 100% SPI. Penggunaan 5% SBT dalam perekat bahkan mampu menghasilkan beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi sekitar 20% dari pada beton dengan 100% SPI.

3.3 Modulus Elastisitas

Hasil pengukuran modulus elastisitas beton untuk variasi kandungan SBT dalam perekat dan untuk setiap umur uji diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Modulus Elastisitas Beton Dengan Variasi Kandungan Serbuk Batu Tabas Dan Umur Hidrasi

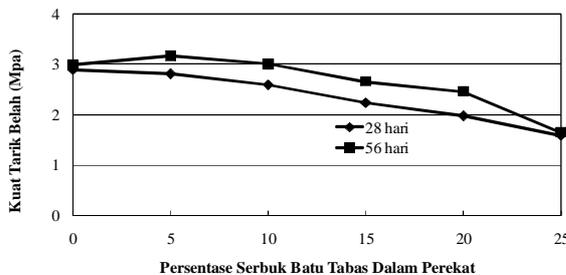
Dari hasil pengukuran tersebut dapat dilihat bahwa perkembangan nilai modulus elastisitas beton mempunyai kecenderungan

yang serupa dengan perkembangan kuat tekan baik akibat variasi kandungan SBT dalam perekat maupun perkembangan umur uji.

Terlihat jelas bahwa modulus elastisitas menurun dengan meningkatnya kandungan SBT dalam perekat pada umur hidrasi 28 hari. Pada umur hidrasi 56 hari, penggunaan 5% dan 10% SBT mampu menghasilkan beton dengan modulus elastisitas yang lebih tinggi berturut-turut 20% dan 10% dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas beton dengan 100% SPI.

3.4 Kuat Tarik Belah

Hasil uji kuat tarik belah beton untuk setiap variasi kandungan SBT dalam perekat dan untuk setiap umur uji diberikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Kuat Tarik Belah Beton Dengan Variasi Kandungan Serbuk Batu Tabas Dan Umur Hidrasi

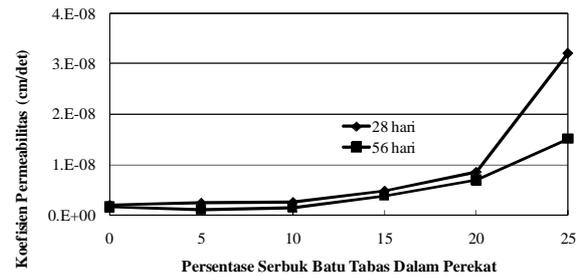
Fenomena yang serupa dengan perkembangan kuat tekan dan modulus elastisitas juga diamati pada perkembangan kuat tarik belah dengan variasi kandungan SBT dalam perekat dan umur hidrasi.

Pada umur 28 hari, kuat tarik belah berkurang dengan meningkatnya kandungan SBT dalam perekat. Namun demikian pada umur 56 hari, penggunaan 5% SBT dalam perekat mampu menghasilkan kuat tarik belah 5% lebih tinggi dan penggunaan 10% SBT dapat menghasilkan kuat tarik belah yang setara dibandingkan dengan nilai kuat tarik belah beton dengan 100% SPI.

3.5 Permeabilitas

Hasil pengukuran koefisien permeabilitas beton untuk berbagai variasi

kandungan SBT dalam perekat dan untuk setiap umur uji diberikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Koefisien Permeabilitas Beton Dengan Variasi Kandungan Serbuk Batu Tabas Dan Umur Hidrasi

Hasil pengukuran koefisien permeabilitas memperlihatkan bahwa pada umur 28 hari, semakin meningkat kandungan SBT dalam perekat semakin meningkat nilai koefisien permeabilitas beton. Peningkatan nilai koefisien permeabilitas tersebut sangat tajam pada penggunaan SBT sebesar 25%.

Pada umur 56 hari, nilai koefisien permeabilitas beton berkurang dibandingkan dengan umur 28 hari. Pada penggunaan SBT sebesar 5% dan 10%, nilai koefisien permeabilitas berkurang sebesar berturut-turut 40% dan 10% dibandingkan dengan beton yang dibuat dengan menggunakan 100% SPI.

3.6 Pembahasan

Penggunaan SBT sebagai pengganti sebagian SPI pada aplikasi beton memberikan hasil yang menarik. Pada umur 28 hari, secara umum kinerja dari beton yang menggunakan perekat campuran, dilihat dari nilai kuat tekan, modulus permeabilitas, kuat tarik belah dan koefisien permeabilitas, lebih buruk dari pada beton yang dibuat dengan menggunakan 100% SPI. Semakin meningkat kandungan SBT dalam perekat sebagai pengganti SPI, semakin rendah nilai kuat tekan, modulus permeabilitas dan kuat tarik belah serta semakin tinggi nilai koefisien permeabilitas.

Dengan bertambahnya umur hidrasi terjadi perbaikan kinerja pada semua beton, baik beton dengan perekat campuran SBT dan SPI maupun beton dengan perekat 100% SPI. Pada umur 56 hari, tercatat bahwa pada penggunaan sekitar 5% sampai dengan 10% SBT dalam perekat memberikan kinerja yang lebih baik dan minimal setara dengan beton berperekat 100% SPI. Hal ini dapat dikaitkan

dengan proses pengerasan yang terjadi di dalam pasta semen yang berlangsung secara bertahap sesuai dengan kecepatan reaksi dari masing-masing senyawa pembentuk semen yang juga tergantung dari jumlah air serta ketersediaan akses yang tersedia bagi unsur-unsur kimia pada semen untuk melangsungkan reaksi [Lea, 1970; Mehta, 1986; Murdock and Brook, 1991; Dreux et Festa, 1995; Neville and Brooks 1998]. Dengan demikian dengan bertambahnya umur beton, jumlah produk hidrasi dalam beton semakin meningkat sehingga kekerasan dan kekakuan meningkat serta porositas semakin berkurang. Hal ini akhirnya menyebabkan beton semakin kuat, modulus elastisitasnya semakin tinggi serta koefisien permeabilitasnya semakin rendah.

Penggunaan perekat campuran pada beton, umumnya setelah beton berumur lebih dari 28 hari, dapat menghasilkan kekuatan dan modulus elastisitas yang lebih tinggi serta koefisien permeabilitas yang lebih rendah relatif terhadap yang dihasilkan oleh beton yang menggunakan 100% SPI sebagai perekat hidrolis. Dibandingkan dengan semen Portland, umumnya proses hidrasi perekat campuran, karena mengandung pozzolan (SBT), berlangsung perlahan sehingga perkembangan jumlah produk hidrasinya juga akan lambat. Namun demikian reaksi pozzolanik yang terjadi pada tahap berikutnya akan meningkatkan jumlah produk hidrasi yang bersifat perekat pada beton yang dibuat dengan menggunakan perekat campuran sehingga mampu mengimbangi bahkan melampaui kekuatan yang dihasilkan oleh beton yang dibuat dengan menggunakan 100% SPI. Sejalan dengan peningkatan kekuatan ini, modulus elastisitasnya juga meningkat dan koefisien permeabilitasnya menurun.

Fenomena perkembangan kinerja ini jelas berhubungan dengan adanya potensi pozzolanik pada SBT. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa alumina (Al_2O_3) dan silika (SiO_2) yang ada pada masing-masing pozzolan bersifat reaktif dan dapat mengikat kapur bebas yang dilepaskan saat hidrasi SPI untuk membentuk senyawa tambahan bersifat perekat, seperti C-A-H dan C-S-H. Hanya saja reaktivitas pozzolanik SBT nampaknya belum dapat dilihat pada umur 28 hari dan baru dapat dilihat jelas pada umur 56 hari. Umum diketahui bahwa kehadiran material berkarakter perekat akan memperlambat perkembangan sifat mekanik dan fisik beton.

Penggunaan SBT dalam perekat yang lebih besar dari 10% memberikan kinerja yang lebih rendah dari pada beton dengan perekat berupa 100% SPI. Hal ini terkait dengan tidak berimbangnya jumlah kapur bebas, kalsium hidroksida, yang dihasilkan dari hidrasi C3S dan C2S pada SPI dengan kandungan alumina dan silika reaktif yang ada pada SBT. Dengan menggunakan SBT pada perekat campuran lebih besar dari 10% mengakibatkan jumlah alumina dan silika meningkat melampaui jumlah kalsium hidroksida yang mampu disiapkan dari hasil hidrasi C3S dan C2S pada SPI, sehingga produk hidrasi berkarakter perekat tambahan yang dihasilkan sebagai akibat reaksi pozzolanik menjadi tidak optimal dan mengakibatkan kinerja beton semakin rendah.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Dari hasil yang telah diperoleh melalui pelaksanaan penelitian serta pembahasan yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Serbuk batu tabas yang dipelajari menunjukkan reaktivitas pozzolanik yang baik ditinjau dari segi kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan permeabilitas sehingga layak dipertimbangkan sebagai komponen dari semen Portland komposit.
- Perkembangan kuat tekan, modulus elastisitas, kuat tarik belah dan permeabilitas yang dihasilkan beton dengan perekat berupa campuran SBT dan SPI tergantung dari jumlah SBT yang digunakan dalam perekat campuran dan waktu hidrasi.
- Efek pozzolanik dari SBT sebagai pengganti sebagian SPI baru dapat terlihat pada umur 56 hari.
- Penggunaan optimal dari SBT sebagai pengganti sebagian semen dalam aplikasi beton berkisar antara 5-10% sehingga mampu menunjukkan kinerja yang setara dan atau melampaui kinerja dari beton dengan perekat 100% SPI.

4.2 Saran

Dengan memperhatikan hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilaksanakan ini dapat disampaikan saran sebagai berikut :

- Perlu dilakukan penelitian untuk mencari strategi yang dapat digunakan untuk meningkatkan reaktivitas pozzolanik dari serbuk batu tabas sehingga perkembangan sifat mekanik dan fisik beton yang menggunakan perekat campuran bisa setara dengan beton yang menggunakan perekat 100% SPI.
- Untuk melengkapi dan memperluas hasil kajian, perlu dilaksanakan penelitian sejenis dengan menggunakan serbuk batu tabas dari sumber yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional, 2004, *Standar Nasional Indonesia Semen Portland* (SNI 15-2049-2004).

Badan Standardisasi Nasional, 2004, *Standar Nasional Indonesia Semen Portland Pozzolan* (SNI 15-0302-2004).

Badan Standardisasi Nasional, 2000, *Standar Nasional Indonesia Untuk Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal* (SNI 03-2834-2000).

Anonim, 2008, *Potensi Bangunan*, www.pertambangan-jatim.

Druex, G. et Festa, J., 1995, *Nouveau guide du béton*, 7^{ème} édition, Eyrolles, Paris.

Lea, F.M., 1970, *The Chemistry of Cement and Concrete*, third edition, Edward Arnold Ltd, London.

Mehta, P.K., 1986, *Concrete Structure Properties, and Materials*, Englewood Cliffs, New Jersey.

Murdock, L.J. dan Brook, K.M. 1991. *Bahan dan Pratek beton*. terjemahan Stephanus Hendarko. Jakarta: Erlangga.

Neville, A.M. and Brooks J.J., 1998, *Concrete Technology*, Longman, Singapore.

Salain I.M.A.K., 2007, *Kekuatan Serta Produk Hidrasi Dari Campuran Terak Tanur Tinggi Dan Abu Terbang Yang Dihasilkan Melalui Teknologi Pembakaran Bantalan Yang Difluidasi*, Prosiding Konferensi Nasional Pengembangan Infrastruktur Berkelanjutan, Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Hotel Sahid, Kuta, Bali.

Salain I.M.A.K., 2007, *Perbandingan Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton yang Menggunakan Semen Portland Pozolan dengan yang menggunakan Semen Portland Tipe I*, Seminar dan Pameran HAKI.