

PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* TERHADAP SIFAT *WORKABILITY* DAN SIFAT FISIK - MEKANIK BETON NON PASIR DENGAN AGREGAT ALWA ASAL CILACAP

Diarto Trisnoyuwono

Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Politeknik Negeri Kupang
Jalan Adisucipto, Penfui Kupang – NTT
Korespondensi : diartopoltek@gmail.com

ABSTRACT

A massive concrete production impact on improving air pollution from cement plants. In addition, there are areas has limited aggregate resources that meet building requirement. Building materials technology bring solution for such problems, for example fly ash which can improve the performance of concrete, artificial lightweight aggregate (ALWA) from shale combustion and no-fines concrete. The study aims to determine effect of the fly ash in the mixes of no-fines concrete with ALWA aggregate to the degree of workability and physical - mechanical properties. This research was conducted by the addition of the variable portion of fly ash by 10-20% in comparison mixture of cement - aggregate 1: 4; 1: 6; 1: 8, and the measured value of the slump (workability values) and compressive strength. The results indicate the addition of fly ash were able to increases the value of the slump of up to 7 cm and reach 19.71 MPa of compressive strength.

Keywords : *no-fines concrete, fly ash, phisic-mechanic properties, workability*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan beton di bidang konstruksi bangunan meningkat setiap saat dari segi kuantitas dan kualitas. Hal ini disebabkan karena bahan penyusun beton mudah diperoleh, proses pembuatannya yang sederhana, mudah dibentuk sesuai selera dan kekuatan serta ketahanannya terhadap lingkungan yang baik. Eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam dilaksanakan guna memenuhi kebutuhan akan bahan semen dan agregat.

Proses produksi semen menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan yaitu pencemaran partikel halus di udara serta gas buang (CO₂) hasil pembakaran material penyusun semen yang dilepas ke atmosfer sangat besar, sementara itu di beberapa daerah di Indonesia masih menemui kendala dengan pemenuhan kebutuhan agregat untuk pembangunan sarana dan prasarana fisik karena keterbatasan ketersediaan agregat yang memenuhi syarat sebagai bahan bangunan, oleh sebab itu untuk kegiatan pembangunan infrastruktur

terpaksa harus mendatangkan jauh dari wilayahnya sehingga menyebabkan harganya menjadi mahal.

Beberapa rekayasa teknologi telah ditemukan untuk mengantisipasi semua kendala tersebut. Berdasarkan penelitian bahwa *fly ash* dapat meningkatkan kinerja beton sekaligus menggantikan sebagian porsi semen. *Fly ash* sebagai hasil sampingan dari pembakaran batu bara pada instalasi PLTU sebagai bahan tambah untuk beton non pasir diharapkan dapat mengurangi penggunaan semen dan memperbaiki sifat *workability* beton non pasir yang rata – rata memiliki nilai *slump* yang rendah dan berdampak terhadap kemudahan dalam pengecoran dan pemadatan.

Di kota Kupang telah berdiri satu unit PLTU yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya, yang menghasilkan limbah *fly ash*, dimana limbah tersebut belum sama sekali dimanfaatkan oleh masyarakat.

Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan bangunan dapat secara langsung mengurangi penimbunan limbah, mengurangi polusi udara dan sifatnya yang dapat menggantikan sebagian porsi semen memberikan solusi untuk meminimalkan penggunaan semen sehingga biaya konstruksi dapat ditekan.

Inovasi teknologi bahan agregat khususnya agregat ringan telah ada di Indonesia yaitu di daerah Cilacap, Propinsi Jawa Tengah yang memproduksi agregat dari bahan tanah lempung yang dikenal dengan nama lempung bekah atau *Artificial Lightweight Aggregate* (ALWA) dimana hasil produksinya sebagian besar untuk konsumsi ekspor guna memenuhi kebutuhan akan agregat ringan. ALWA dapat juga dibuat dari bahan *fly ash* dan *rice husk ash* (abu sekam padi).

Pemanfaatan ALWA di Indonesia belum begitu luas karena informasi produk belum meluas di masyarakat terutama di wilayah dengan sumber agregat untuk bangunan yang terbatas. Khusus wilayah NTT yang memiliki potensi dilanda gempa yang besar seperti wilayah Pulau Flores, struktur bangunan yang menggunakan material yang ringan sangat dibutuhkan.

Beton non pasir adalah jenis beton ringan yang tidak menggunakan agregat halus (pasir), beton tersebut memiliki beberapa keunggulan yang dominan yaitu porositas yang tinggi, bobot yang ringan, bersifat isolasi panas, tidak memiliki daya kapiler, susutnya yang kecil, tidak mudah bersegregasi pada saat pengecoran dan kebutuhan semen yang sedikit (Tjokrodimuljo, 2004). Karena tidak menggunakan pasir maka kebutuhan semen akan lebih sedikit dibanding beton normal. Selain keunggulan tersebut terdapat kelemahan pada sifat fisik beton segar, yaitu *workability* beton non pasir yang rendah. Masalah muncul di saat kegiatan pengecoran ke dalam cetakan kolom atau balok, ukuran cetakan dan formasi tulangan yang terbatas akan menyulitkan pemadatan. Masalah akan bertambah jika produk ini

dilaksanakan di lapangan oleh pekerja yang kurang cakap (terbiasa membuat adonan beton yang terlampau encer).

Penelitian terhadap sifat fisik dan mekanik beton non pasir yang menggunakan agregat ALWA dengan tambahan material *pozzolan fly ash* bertujuan untuk memberikan informasi kepada masyarakat khususnya yang di wilayahnya tidak memiliki ketersediaan agregat yang memenuhi standar mutu bahan bangunan bahwa agregat dari bahan tanah lempung yang dibakar (ALWA) ternyata dapat digunakan sebagai bahan bangunan. Selain itu menumbuhkan kesadaran masyarakat untuk dapat seluas mungkin memanfaatkan limbah pembakaran batu bara (*fly ash*) misalnya diplikasikan untuk campuran bahan bangunan seperti beton dan mortar. Kemudian akhirnya masyarakat juga memiliki pengetahuan bahwa tidak selamanya beton itu harus dicampur dengan pasir, berbobot berat dan kedap air.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pengembangan bahan beton non pasir di Indonesia telah dimulai sejak lama. Tercatat beberapa penelitian dengan menggunakan variasi jenis agregat untuk diaplikasikan sebagai batako, rumah cetak, jalan lingkungan sampai dengan barang kerajinan. Penelitian terkait pemanfaatan agregat ALWA sebagai beton non pasir dirintis oleh Tjokrodimuljo dan Basewed, di tahun 1997 serta Wahyudi, pada tahun 1998. Sedangkan pengembangan ALWA sebagai agregat telah dilakukan oleh Puslitbang Permukiman, Balitbang Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum sejak tahun 70-an.

2.2 Beton Non Pasir

Struktur beton non pasir sangat berbeda dengan beton konvensional dalam pengertian bahwa pasta semen yang mengikat agregat menjadi satu berupa lapisan yang tipis. Ketika dilakukan

pemadatan maka akan membuat partikel – partikel agregat menjadi lebih menyatu, sehingga pasta semen keluar dari bidang kontak dan menyelimuti partikel – partikel agregat tersebut (Harber, 2005).

Karakteristik utama yang diharapkan dari beton non pasir adalah sifat porositasnya, penggunaan pasta semen yang berlebihan (porsi campuran semen – agregat lebih kecil 1 : 5) akan mengurangi sifatnya tersebut.

Dalam proses produksi beton porsi air harus menjadi perhatian utama. Porsi air yang berlebihan akan menyebabkan pasta semen yang encer dan akan sulit merekat ke permukaan agregat. Sehingga untuk praktisnya Faktor Air Semen (FAS) yang digunakan tidak melebihi angka 0,5. Karena adanya pembatasan kadar air dalam campuran menyebabkan adonan menjadi sangat kental (*slump* di bawah 5 cm). Ukuran bekisting yang terbatas menyulitkan pemadatan. Sehingga dibutuhkan bahan tambahan yang dapat meningkatkan kelecakan tanpa air penambahan lagi.

Kuat tekan beton non pasir dipengaruhi oleh jenis, bentuk agregat gradasi agregat, rasio volume semen - agregat dan Faktor Air Semen (FAS). Pada umumnya agregat kasar yang dipakai berukuran 10 – 20 mm, walaupun ukuran yang lain dapat pula dipakai. Pemakaian agregat dengan gradasi rapat dan bersudut (batu pecah) akan menghasilkan beton non pasir yang kuat tekan dan berat jenisnya sedikit lebih tinggi daripada yang memakai agregat seragam dan bulat (Tjokrodumuljo, 2004).

2.3 ALWA

ALWA merupakan singkatan dari bahasa Inggris yaitu “*Artificial Lightweight Aggregate*” yaitu agregat ringan buatan. ALWA atau biasa disebut sebagai lempung bekah, terbuat dari tanah liat jenis *shale* yang dibakar dalam tungku putar, ditambahkan pula serbuk batu bara untuk membantu pemanasan dan pengembangan, hal ini mengakibatkan energi yang

digunakan lebih sedikit sehingga biaya produksi rendah dan lebih efisien, dengan demikian hasil agregat lebih beragam serta kapasitas produksi lebih besar. Di Indonesia ALWA hanya diproduksi di Cilacap, berbentuk butiran berukuran maksimum 20 mm, berbobot ringan (berat jenis antara 1.0 – 1.8) dan ketahanan abrasi sebesar 35 %. Agregat ALWA dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. ALWA (koleksi pribadi)



Gambar 2. Pabrik ALWA di Cilacap (Tjokrodumuljo, 2004)

2.4 Fly Ash

Fly ash (abu terbang) adalah material yang berasal dari sisa pembakaran batu bara yang tidak terpakai. Pembakaran batu bara kebanyakan digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap. Produk limbah dari PLTU tersebut mencapai 1 juta ton per tahun (Paul Nugraha & Antoni 2007).

Material ini mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik. Kandungan *fly ash* sebagian

besar terdiri dari silikat dioksida (SiO₂), aluminium (Al₂O₃), besi (Fe₂O₃) dan kalsium (CaO), serta magnesium, potasium, sodium, titanium dan sulfur dalam jumlah yang lebih sedikit (Paul Nugraha & Antoni, 2007). Sifat dasar abu terbang yang penting adalah sifat pengerasan sendiri yang menyerupai sifat semen. Abu terbang akan mengeras dengan bertambahnya waktu, karena itu kekuatannya juga akan meningkat.

Penggunaan bahan tambah pengganti sebagian semen saat ini telah banyak diteliti dan digunakan sebagai campuran mortar maupun beton. Secara ekonomi, hal ini memungkinkan adanya pengurangan biaya dengan menghemat jumlah semen yang digunakan. Sedangkan secara teknis, bahan tambah dapat berfungsi sebagai pengisi dalam campuran dan memperbaiki *workability*. Pemakaian bahan tambah juga memberikan keuntungan di bidang ekologi karena berpotensi mengurangi polusi udara dan air akibat penumpukan bahan ini dalam jumlah besar.

3. METODOLOGI

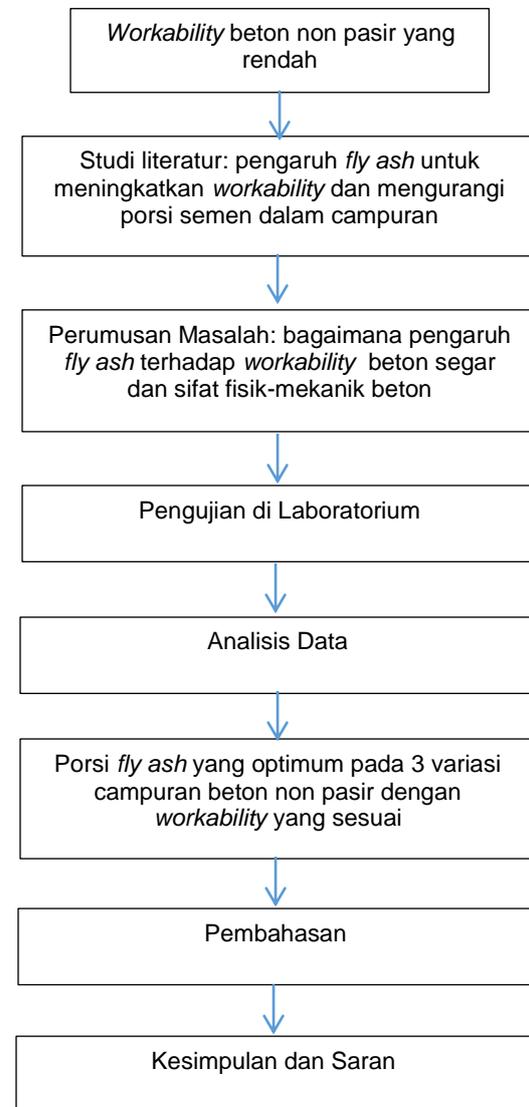
3.1 Metode Pelaksanaan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental di laboratorium. Variabel penelitian di sini adalah porsi penambahan *fly ash* pada beberapa variasi porsi campuran beton non pasir. Terhadap variabel tersebut akan dianalisa pengaruh penambahan *fly ash* pada beberapa variasi porsi bahan penyusun beton non pasir yang menghasilkan derajat *workability* campuran yang memenuhi standar (nilai *slump* berkisar antara 10 – 15 cm) untuk aplikasi elemen bangunan (kolom, balok dan plat), mengukur volume rongga dan menguji kuat tekan.

Pada penelitian ini, perbandingan volume semen dan agregat ALWA yang digunakan dalam pembuatan campuran beton non pasir adalah 1 : 4, 1 : 6 dan 1 : 8 dengan nilai faktor air semen tetap yaitu sebesar 0,40 dengan porsi penambahan *fly*

ash sebanyak 0 %; 10 % dan 20 % terhadap berat semen.

Tahapan penelitian dapat dijelaskan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

3.2 Perhitungan Kebutuhan Bahan

Sebelum pengadukan dilaksanakan, terlebih dahulu dihitung kebutuhan bahan – bahan penyusun beton non pasir, yang selanjutnya kebutuhan bahan ini diberi faktor aman tambahan bahan sebesar 20 %, dasar pertimbangannya adalah pada nilai ketahanan aus (80,7%) serta kekerasan agregat (34 %) yang rendah. Kebutuhan bahan yang diperlukan yaitu agregat ALWA, semen dan *fly ash*.

Berikut ini rincian kebutuhan bahan untuk 3 variasi kadar *fly ash* pada 3 variasi campuran bahan penyusun beton non pasir.

Tabel 1. Tanpa penambahan *fly ash*

Rasio volume S _{mn} : agr	Semen (Kg)	Agregat (Kg)	Air (liter)
1 : 4	375	1008	150
1 : 6	250	1008	100
1 : 8	187	1008	75

Tabel 2. Penambahan *fly ash* 10 %

Rasio volume S _{mn} : agr	Semen (Kg)	<i>Fly ash</i> (kg)	Agregat (Kg)	Air (liter)
1 : 4	337	37	1008	135
1 : 6	225	25	1008	90
1 : 8	168	18	1008	67

Tabel 3. Penambahan *fly ash* 20 %

Rasio volume S _{mn} : agr	Semen (Kg)	<i>Fly ash</i> (kg)	Agregat (Kg)	Air (liter)
1 : 4	300	75	1008	120
1 : 6	200	50	1008	80
1 : 8	150	37	1008	60

Pada penambahan *fly ash* sebesar 10% dan 20% dari volume semen, maka akan diikuti dengan pengurangan porsi semen yang sama besar, oleh sebab itu kebutuhan semen dapat dikurangi jika dibandingkan dengan adukan beton non pasir tanpa *fly ash*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sifat Fisik Bahan Penyusun

Tahap awal pengujian di laboratorium adalah memeriksa sifat fisik bahan utama beton non pasir yaitu agregat ALWA.

Hasil analisa saringan menunjukkan agregat ukuran 20 mm tidak berukuran seragam tetapi secara beralasan dapat dikatakan seragam. Hampir 95 persen agregat tertahan di atas saringan berukuran 9,5 mm walaupun terdapat sejumlah agregat berukuran kecil dan halus, hal tersebut tidak terlalu berpengaruh terhadap kekuatan tetapi akan berpengaruh pada volume rongga beton non pasir.

Berat satuan agregat ALWA ukuran butiran 10 – 20 mm adalah 832 kg/m³, sedangkan berat satuan kerikil normal adalah berkisar antara 1200 – 1600 kg/m³ (Tjokrodinuljo, 1992), maka dapat dikatakan bahwa agregat tersebut termasuk agregat ringan, disebabkan oleh banyak rongga yang dikandungnya.

Pemeriksaan terhadap berat jenis menunjukkan hasil sebesar 1,62 dan berat jenis kering jenuh permukaan (*saturated surface dry*) sebesar 2,03 karena berat jenis rata – rata agregat normal berkisar antara 2,5 – 2,7 maka agregat ALWA dapat digolongkan sebagai agregat ringan.

Serapan air agregat ALWA adalah 8,61% dalam 1 menit dan 25,31 % setelah perendaman selama 24 jam. Kemampuan agregat menyerap air untuk beton normal sekitar 1 – 2 %, maka dapat dikatakan bahwa agregat ALWA memiliki serapan air yang sangat tinggi.

Agregat ALWA yang digunakan untuk pemeriksaan ketahanan aus adalah ukuran fraksi B (berukuran antara 9,5 – 19 mm). Pada pemeriksaan ketahanan aus dengan mesin *Los Angeles* diperoleh keausan sebesar 32,82 % setelah putaran ke-500.

Menurut SNI 03-6861.1-2002 bagian yang hancur pada pemeriksaan ketahanan aus dengan mesin *Los Angeles* disyaratkan maksimal 50 % untuk beton kelas I. Dengan demikian agregat ALWA memenuhi syarat untuk digunakan sebagai agregat pada beton normal. Karena sifatnya yang ringan maka agregat ALWA juga dapat dimanfaatkan sebagai agregat untuk beton ringan (beton non pasir).

Hasil uji kekerasan batuan dengan bejana Rudolf, menggunakan ukuran fraksi B (berukuran antara 9,5 s.d 19 mm). Berdasarkan pengujian tersebut, diperoleh bagian agregat ALWA yang hancur rata – rata sebesar 25 %.

Kekerasan agregat yang dipersyaratkan untuk beton dengan menggunakan bejana Rudolf adalah untuk bagian yang hancur maksimal 32 % untuk

beton normal kelas I (SNI 03-6861.1-2002). Oleh sebab itu agregat ALWA memenuhi syarat sebagai agregat dalam pembuatan beton termasuk beton ringan.

4.2 Hasil Pemeriksaan Nilai Slump

Hasil pengujian nilai *slump* pada beton non pasir dengan agregat ALWA ukuran 10 – 20 mm dapat dilihat di **Tabel 4**.

Tabel 4. Nilai *slump* (cm)

Rasio volume PC : Agregat	Kadar <i>fly ash</i>		
	0 %	10 %	20 %
1 : 4	0	2,0	5,6
1 : 6	2	4,7	6,3
1 : 8	4	5,5	7,0



Gambar 4. Uji *slump* beton

Pada adukan beton non pasir tanpa penambahan *fly ash* menghasilkan nilai *zero slump* (nol) untuk semua variasi rasio volume semen – agregat. Rendahnya nilai *slump* tersebut menunjukkan bahwa salah satu karakteristik dasar adukan beton non pasir adalah *workability* sangat rendah (cenderung menghasilkan *slump* nol). Penambahan *fly ash* dalam campuran sebanyak 10 % dan 20 % pada ketiga variasi campuran bahan beton pasir terbukti meningkatkan derajat *workability* beton segar.

Menurut SNI 03-6861.1-2002 tentang spesifikasi bahan bangunan bagian a (bahan bangunan bukan logam) khusus bahan beton, mensyaratkan nilai *slump* beton

segar untuk berbagai aplikasi pekerjaan dari 2,5 cm – 15 cm, maka adonan beton non pasir agregat ALWA dengan penambahan *fly ash* 10 % - 20 % dapat diaplikasikan untuk elemen bangunan seperti pelat, balok, kolom dinding, serta pengerasan jalan.

4.3 Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton non pasir ditampilkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Kuat tekan beton non pasir (MPa)

Rasio volume PC : Agregat	Kadar <i>fly ash</i>		
	0 %	10 %	20 %
1 : 4	17,26	18,14	19,71
1 : 6	8,61	10,19	11,51
1 : 8	5,24	6,53	6,95

Dari hasil yang tertuang dalam **Tabel 5** diketahui bahwa penambahan *fly ash* pada beton non pasir mampu memperbaiki atau meningkatkan kinerjanya. Pada kadar *fly ash* sebesar 10% dan 20% dapat menghasilkan kuat tekan beton non pasir yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan atau tanpa penambahan *fly ash*, hal ini disebabkan karena terjadi reaksi *pozzolanic* antara *fly ash* dan matriks semen sehingga dapat meningkatkan kekuatan ikatan dengan agregat.

Fly ash juga terbukti dapat menggantikan sebagian porsi semen dalam campuran, hasil pengujian menunjukkan penambahan kadar *fly ash* meningkatkan kuat tekan benda uji. Hal ini merupakan sisi positif dari pemanfaatan limbah yang dapat dimanfaatkan untuk bahan bangunan.

Menurut SNI 03-2461-2002 tentang spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural, kuat tekan beton ringan untuk aplikasi elemen struktural bangunan memiliki rentang antara 17 MPa – 28 MPa. Berdasarkan hasil pengujian maka benda uji beton non pasir dengan porsi semen – agregat 1 : 4 yang ditambahkan *fly ash* 10 % dan 20 % dengan kuat tekan 18,14 MPa dan 19,71 MPa dapat diaplikasikan untuk elemen struktural bangunan, seperti kolom, balok dan dinding partisi, sedangkan untuk

kuat tekan di bawah 17 MPa menurut SNI 03-6861.1-2002 tentang spesifikasi bahan bangunan bagian a (bahan bangunan bukan logam) khusus material bata beton berlubang yang menunjukkan persyaratan fisis bahwa rentang kuat tekan yang disyaratkan dari tingkat mutu 1 – 4 adalah sebesar 7 MPa – 2 MPa, maka bahan beton non pasir masih memenuhi syarat untuk diaplikasikan sebagai bahan bata beton (batako) dan bata beton pejal sesuai standar dalam SNI 03-6861.1-2002 yang mensyaratkan rentang kuat tekan dari 2,5 MPa – 10 MPa.

Beton non pasir untuk struktur bangunan dapat dikompositkan dengan tulangan baja, untuk alasan ketahanan (mencegah infiltrasi air yang akan menyebabkan korosi tulangan baja) maka elemen balok atau kolom dapat dipelster dengan mortar atau tulangan baja diberi cat pelindung sebelum dipasang. Berdasarkan uji coba yang pernah dilakukan oleh Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Beton Non pasir telah diaplikasikan untuk struktur gapura, rumah tinggal, ruang pameran kerajinan dan buis beton.

Pada **Gambar 5** akan ditampilkan contoh benda uji silinder beton non pasir sebelum dilakukan uji tekan.

4.4 Volume Rongga

Hasil pemeriksaan volume rongga beton non pasir dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Volume rongga beton non pasir (%)

Rasio volume PC : Agregat	Kadar <i>fly ash</i>		
	0 %	10 %	20 %
1 : 4	8,05	7,27	7,03
1 : 6	12,95	11,67	11,78
1 : 8	17,53	16,41	16,02

Berdasarkan **Tabel 6** dapat disimpulkan bahwa semakin besar proporsi agregat atau semakin sedikit jumlah semen, maka volume rongga beton non pasir yang diperoleh semakin besar.



Gambar 5. Benda uji silinder

Beton non pasir dengan penambahan *fly ash* memiliki volume rongga sedikit lebih rendah dari beton non pasir tanpa *fly ash*, ini disebabkan karena reaksi *fly ash* dengan semen dapat mengikat butiran agregat menjadi lebih rapat sehingga mengurangi volume rongga beton tetapi sifat porositas beton tetap dalam batas kewajaran (13 – 28%) karena karakteristik utama dari beton non pasir adalah sifat porositasnya untuk dapat dengan mudah melewatkan air dan berbobot ringan,

berlawanan dengan karakteristik beton normal yang dibutuhkan sifat kepadatannya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pemeriksaan sifat – sifat fisik agregat ALWA adalah berat satuan 832 kg/m³ dan berat jenis SSD 2,03 tergolong agregat ringan. Tingkat serapan air sebesar 25,31 % serta ketahanan keausan dan kekerasan agregat masing – masing sebesar 32,82 % dan 25 %. Menurut SNI 03-6861.1-2002 agregat ALWA dapat digunakan sebagai bahan bangunan.
2. Beton non pasir dengan penambahan *fly ash* sebesar 10 % dan 20 % dapat secara signifikan meningkatkan derajat *workability* beton segar dan kuat tekan beton non pasir.
3. Campuran adonan beton non pasir dengan penggunaan semen minimum dan volume rongga ideal (> 10 %) adalah pada rasio volume semen agregat 1 : 6 dan 1 : 8. *Fly ash* terbukti dapat menggantikan sebagian porsi semen dalam campuran.
4. Beton non pasir dengan agregat ALWA dengan penambahan *fly ash* 10 % - 20 % dengan kuat tekan di atas 17 MPa berdasarkan SNI 03-2461-2002 memenuhi syarat sebagai beton ringan untuk elemen struktural.
5. Beton non pasir dengan agregat ALWA dengan penambahan *fly ash* 10 % - 20 % dengan kuat tekan di bawah 17 MPa berdasarkan SNI 03-6861.1-2002 memenuhi syarat untuk dibuat produk bata beton pejal (mutu II - mutu IV), bata beton berlubang (mutu I - IV).

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan sosialisasi ke segenap masyarakat Indonesia bahwa limbah dari proses produksi listrik di PLTU (*fly ash*) dapat meningkatkan kinerja/mutu bahan beton maupun mortar. Sekaligus

menggantikan sebagian porsi semen untuk pembuatan mortar ataupun beton.

2. Bagi daerah yang minim sumber agregat untuk bangunan dapat mencoba memproduksi agregat ALWA, karena potensi *shale* sebagai bahan ALWA hampir merata di daerah.
3. Beton non pasir dapat menjadi pilihan bagi masyarakat untuk dijadikan batako atau elemen struktur bangunan sekaligus dapat menghemat penggunaan pasir dan semen.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Harber, P. 2005. *Applicability of No-Fines Concrete as a Road Pavement*, Dissertation towards the Degree of Bachelor of Engineering, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, Australia.
- Nugraha, Paul & Antoni 2007. *Teknologi Beton*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- SNI 03-6861.1-2002, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam).
- SNI 03-2461-2002, Spesifikasi Agregat Ringan Untuk Beton Ringan Struktural.
- Tjokrodinuljo, K. 2004. *Teknologi Beton*, Buku Ajar. Jurusan Teknik Sipil – Magister Teknologi Bahan Bangunan – Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, K. 1992. *Beton Non-Pasir Dengan Agregat Dari Pecahan Genteng Keramik*. Laporan Penelitian. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.