PENINGKATAN KUAT TEKAN BETON *POND* ASH PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT HALUS BERDASARKAN FUNGSI WAKTU

Tumingan¹, Salma Alwi², Rafian Tistro³

^{1,2,3}Staf Pengajar Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda, Jln. Dr. Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan Samarinda 75131, Telp. 0541-260588, Fax. 0541-260355

Email: ¹tumingan@polnes.ac.id, ²salmaalwi@yahoo.com, ³rafian.polnes@gmail.com

ABSTRACT

Pond ash is a mixture of fly ash, bottom ash and other ash materials in a pond/lake/beach, pond ash materials are very overload and become waste, so the research of coal ash waste (pond ash) as a substitute of fine aggregate (sand) to increase the compressive strength of concrete influence of time function, were examined using cylindrical specimens of 100 mm diameter and 200 mm height. The specimens were made by taking a percentage ratio of pond ash by 0%: 5%: 10%: 15% and 20% in the mixture with a constant water cement ratio 0.49 based on the results of a normal concrete mix of f'c 25 MPa. The result of analysis of compressive strength to the time function obtained value at the age of 1 day the calculation results do not deviate from the equity line position, after the age of 3 and 7 days. The compressive strength test of concrete resulted in the value of over estimate means that the value of the test result is lower than the result of the equation can be stated that the hardening process of the concrete press is slow, while the age of 14, 28 days and so on the contrary is the result of compressive strength below the equity line or under estimate means the result value the test is higher than the result of the equation so that it can be stated that the process of hardening presses the concrete faster.

Keywords: Coal Ash, Pond Ash, Compression strength concrete, time function.

ABSTRAK

Pond ash adalah campuran bahan fly ash, bottom ash dan abu lainnya dalam sebuah kolam, bahan pond ash sangat melimpah dan menjadi limbah, maka di teliti pengaruh bahan limbah abu batubara (pond ash) sebagai pengganti sebagian agregat halus (pasir) terhadap peningkatan kuat tekan beton pengaruh fungsi waktu, diteliti menggunakan spesimen berbentuk silinder diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Spesimen dibuat dengan mengambil perbandingan prosentase pond ash sebesar 0%: 5%: 10%: 15% dan 20% terhadap campuran dengan faktor air semen konstan 0,49 berdasarkan rancangan campuran beton normal f'c 25 MPa. Hasil analisa pengujian kuat tekan terhadap fungsi waktu diperoleh nilai pada umur 1 hari hasil perhitungan tidak menyimpang dari posisi garis ekuitas, setelah umur 3 dan 7 hari, hasil perhitungan kuat tekan menghasilkan nilai over estimate berarti nilai hasil pengujian lebih rendah dari hasil persamaan dapat dinyatakan bahwa proses pengerasan kuat tekan beton lambat, sedangkan umur 14, 28 hari dan seterusnya terjadi sebaliknya yaitu menghasilkan kuat tekan dibawah garis ekuitas atau under estimate berarti nilai hasil pengujian lebih tinggi dari hasil persamaan sehingga dapat dinyatakan bahwa proses pengerasan kuat tekan beton semakin cepat.

Kata Kunci : Abu Batubara, Pond ash, Kuat tekan Beton, fungsi waktu

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan bangunan berbentuk batuan yang terbuat dari campuran semen portland, agregat halus/pasir, agregat kasar/kerikil dan air dengan/tanpa bahan tambahan/ admixtures sesuai komposisinya, yang dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi sejumlah material pembentuknya. Juga merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam bidang konstruksi, karena itu pengembangan

terhadap material campuran beton terus dilakukan untuk mendapatkan beton dengan kualitas yang lebih baik, lebih kuat, lebih awet dan lebih murah serta mudah dilaksanakan.

Berdasarkan ACI SP-19 dan ASTM C125-1995, bahan tambah adalah material selain air, agregat dan semen hidrolik yang dicampurkan dalam beton sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam campuran beton dapat dibedakan

menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (chemical admixture) dan bahan tambah yang bersifat mineral (additive).

Fly ash merupakan salah satu bahan additive menurut Chemical admixture (ASTM C 494), yakni mineral yang ditambahkan pada saat pengadukan dilaksanakan, bersifat penyemenan dan lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja kekuatannya, mengurangi panas hidrasi, mengurangi daya tahan terhadap serangan sulfat, meningkatkan kuat tekan beton, meningkatkan keawetan beton, mengurangi penyusutan, mengurangi porositas dan daya serap air. Fly ash berbentuk lembut seperti debu yang disebut debu batubara / abu terbang batubara, butirannya halus seperti debu dan terbang terkena tiupan angin, berdimensi sangat halus setara lolos saringan #200. Jenis ini mengandung SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , dan Fe_2O_3 , dengan kandungan silika yang cukup tinggi. Hal ini memungkinkan abu batubara memenuhi kriteria sebagai bahan yang memiliki sifat semen/pozzolan.

Menurut laporan teknik PT. PLN (Persero), jumlah abu batubara mencapai 60 ton dari penggunaan 4.400 ton batubara. Untuk memproduksi PLTU (2 x 7 MW) memerlukan batubara 8000 ton/bulan. Sementara jumlah PLTU di Kalimantan Timur yang sudah beroperasi yakni 2 x 7 MW di Lati Berau, 2 x 100 MW di Kariangau, 2 x 7 MW di Kabupaten Tanah Grogot, berjumlah 228 MW, memerlukan bahan batubara sekitar 130.000 ton batubara, dan akan menjadikan abu batubara sekitar 1.770 ton per bulan. Jumlah ini cukup besar, sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, pencemaran perairan dan penurunan kualitas ekosistem (Teuku I dan Hendro F. 2008, Tim Kajian Batubara Nasional, 2006).

Proses pengelolaan limbah abu batubara PLTU dilakukan dengan cara merendam

abu batubara gabungan antara fly ash dan bottom ash ditumpuk / dibuang dalam sebuah kolam yang besar. Tujuan utamanya memudahkan menyiram / merendam / mencuci abu batubara agar tidak berterbangan.

Campuran bahan fly ash, bottom ash dan abu lainnya dalam sebuah kolam diistilahkan sebagai pond ash. Abu dasar, abu terbang, abu bawah dll dicampur bersama-sama diangkut ke daerah tambak penimbunan abu disimpan di kolam abu dalam kondisi tercampur dikenal dengan abu kolam/ pond ash (Bhungani, Hiren., 2015). Fly ash dan bottom ash dicampur dengan air dan dibuang di kolam disebut sebagai abu kolam / pond ash (Bagwan, K M., 2014). Ketika fly ash dan bottom ash atau keduanya dicampur dalam proporsi dengan sejumlah air untuk membuatnya menjadi bubur dan disimpan dalam kolam disebut sebagai abu kolam / pond ash (Rathod, Mihir. 2015).

Memperhatikan kondisi tersebut, dicoba mencari solusi pemanfaatan bahan pond ash untuk bahan pembuatan campuran beton. Berdasarkan gradasinya, pond ash memenuhi persyaratan agregat halus zona 3, maka dicoba memanfaatkan pond ash menggantikan sebagian pasir dalam bahan campuran beton.

Permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini, bagaimana pengaruh bahan limbah abu batubara (pond ash) sebagai pengganti sebagian agregat halus (pasir) dalam campuran beton terhadap peningkatan kuat tekan beton pengaruh fungsi waktu pengerasan/proses hidrasi semen?. Untuk menjawab permasalahan ini maka tujuan penelitian ini ditegaskan untuk menentukan komposisi / proporsi pond ash optimum dari variasi kadar pond ash yang direncanakan terhadap pasir dalam campuran beton dan mengevaluasi karakteristik campuran beton terhadap kekuatan tekan antara beton normal dan beton pond ash.

METODA PENELITIAN

Semen

Sebagian besar semen untuk penggunaan konstruksi di Indonesia menggunakan *Portland Composite Cement* (PCC) atau *Portlan Pozzolan Cement* (PPC), kecuali atas permintaan khusus. Penelitian ini menggunakan semen portland composite. Kriteria semen yang digunakan merujuk pada spesifikasi teknis dari semen portland komposit yang digunakan untuk konstruksi umum (SNI 15-7064-2004),.

Untuk memastikan apakah bahan *pond ash* ini lebih cocok sebagai pengganti agregat halus atau sebagai pengganti semen maka dilakukan pengujian terhadap komponen *Oksida* yang terkandung dalam bahan *pond ash* dan semen portlan komposit. Hasilnya adalah sebagai tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian *Oksida Pond ash* terhadap *Oksida PCC*.

No	Oksida	P A (%)	PCC (%)
1	CaO (Lime)	4.82	73.51
2	SiO ₂ (Silica)	2.04	22.24
3	Al ₂ O ₃ (Alumina)	71.43	0.59
4	Fe ₂ O ₃ (Iron)	18.16	2.7
5	MgO (Magnesia)	3.54	0.55
6	SO ₃ (Sulfuric anhydride)	0,00	0.4

Sifat-sifat Mekanik Beton

Sifat-sifat mekanik beton diawali dengan pengujian-pengujian terhadap kekuatan tekan, kekuatan tarik, karakteristik tegangan-regangan (modulus elastisitas), dan sifat-sifat fisik diantaranya proses pengerasan, deformasi, respon terhadap

kondisi lingkungan. Sifat-sifat beton keras dalam penelitian ini dikemukakan sebagai berikut :

Hasil pengujian analisa saringan agregat untuk menentukan gradasi batu pecah, gradasi pasir dan gradasi pond ash. Gradasi agregat kasar distribusi butirannya untuk diameter maksimum 20 mm sesuai standar SNI 03-2834-2000 terdapat kekurangan butiran kasarnya, butiran pasir memenuhi dan masuk kategori zona 1, sedangkan pond ash sebagai pengganti pasir mengacu standar yang digunakan mengikuti standar untuk agregat halus, hasilnya memenuhi kategori zona 3.

Variasi komposisi campuran pada awalnya dihitung dengan cara percobaan prosentase gradasi gabungan pasir terhadap batu pecah tanpa menambahkan pond ash diperoleh perbandingan 37,5% pasir dan 62,5% batu pecah.

Dengan menetapkan prosentase batu pecah 62,5% sebagai komposisi konstan sekaligus sebagai komposisi campuran bahan beton kontrol, sedangkan variasi selanjutnya prosentase pasir berkurang berbanding dengan penggantian pond ash sebesar 0%; 5%; 10%; 15% dan 20% terhadap total agregat untuk campuran beton.

Tahap selanjutnya, hasil dari gabungan agregat, hasil pengujian kadar air dan penyerapan agregat serta hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, diperhitungkan dalam format rancangan campuran beton 5 variasi rencana sesuai SNI 03-2834-2000, hasil perhitungan keperluan bahan tiap 1 m³ adalah seperti tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan komposisi bahan untuk campuran beton

No.	Komposisi pond ash	Komposisi bahan campuran (Kg/m ³)				
		Semen	Air	Pasir	<i>Pond ash</i>	Agregat kasar
1	0 %	408,16	202,91	664,59	0,00	1.124,33
2	5 %	408,16	234,77	575,98	56,75	1.124,33
3	10 %	408,16	266,64	487,37	113,50	1.124,33
4	15 %	408,16	298,50	398,75	170,25	1.124,33
5	20 %	408,16	330,36	310,14	227,00	1.124,33

Kuat tekan beton

Sifat yang paling penting dari beton adalah kuat tekan beton, karena berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik. Kuat tekan beton didefinisikan sebagai besarnya tekanan yang mampu ditahan oleh luasan permukaan beton sehingga beton tersebut hancur. Persamaan perhitungan kuat tekan beton dan tata cara pengujian mengacu standar ASTM C 39.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat tekan yang dihasilkan untuk berbagai umur uji, dilakukan analisis untuk menemukan hubungan antara umur uji terhadap kuat tekan. Hal ini dilakukan pada beton yang dibuat dari berbagai variasi kadar pond ash. Dalam analisis ini digunakan nilai rata-rata yang diperoleh dari 3 buah benda uji yang ditetapkan. Perkembangan kuat tekan dari masing-masing beton berdasarkan waktu hidrasi diberikan pada Gambar 1.

Gambar 1. Hubungan kuat tekan beton terhadap umur uji.

Gambar 1. menunjukkan kurva peningkatan kuat tekan beton terhadap umurnya. Hasil peningkatan kekuatan tekan beton terlihat bahwa kekuatan tekan untuk semua variasi jenis beton meningkat dengan bertambahnya umur hidrasi. Sebelum mencapai umur 28 hari, beton dengan variasi pengganti agregat halus yang besar menunjukkan perkembangan kuat tekan terlihat lebih lambat bila dibandingkan dengan beton dengan agregat pengganti yang lebih kecil, namun demikian dengan bertambahnya umur

hidrasi perbedaan perkembangan kuat tekannya bertambah.

Peningkatan kuat tekan beton nampak lebih cepat pada umur hidrasi awal, sampai dengan 14 hari, dan selanjutnya peningkatannya cenderung lebih lambat bahkan perkembangan kuat tekannya mulai mengalami stabilisasi. Beton yang dibuat dengan menggunakan pond ash sebagai pengganti agregat halus mengembangkan kuat tekan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan beton normal/kontrol yang dibuat tanpa bahan pengganti pond ash pada umur hidrasi setelah 28 hari. Pola peningkatan kekuatan tekannya adalah cenderung sama antara beton normal maupun beton dengan bahan pengganti agregat halus.

Dengan menggunakan persamaan nilai kuat tekan berdasarkan fungsi waktu menurut ACI 209.2R-08, diperoleh hasil ditunjukkan Gambar 2 grafik hubungan rasio kuat tekan dengan umur pada beton normal. Gambar 3 adalah grafik hubungan rasio kuat tekan dan umur pada beton pond ash 5%. Gambar 4 grafik hubungan rasio kuat tekan dan umur pada beton pond ash 10%. Gambar 5 grafik hubungan rasio kuat tekan dan umur pada beton pond ash 15%. Dan Gambar 6 merupakan grafik hubungan rasio kuat tekan dan umur pada beton pond ash 20%.

Gambar 2. Grafik rasio kuat tekan dan umur pada beton normal.

Gambar 3. Grafik rasio kuat tekan dan umur pada beton pond ash 5%.

Gambar 4. Grafik rasio kuat tekan dan umur pada beton pond ash 10%.

Gambar 5. Grafik rasio kuat tekan dan umur pada beton pond ash 15%.

Gambar 6. Grafik rasio kuat tekan dan umur pada beton pond ash 20%.

Berdasarkan Gambar 2 sampai Gambar 6 hubungan persamaan kuat tekan dengan fungsi waktu dapat dituliskan seperti dalam persamaan 1; 2; 3; 4 dan 5.

$$f'_{c\ BN.(t)} = \left[\frac{t}{(3.774\ t + 0.9638)} \right] f'_{c\ BN\ 28} \quad (1)$$

$$f'_{c\ PN\ 5\%.(t)} = \left[\frac{t}{(3.4696\ t + 0.9815)} \right] f'_{c\ PA\ 5\%\ 28} \quad (2)$$

$$f'_{c\ PN\ 10\%.(t)} = \left[\frac{t}{(3.5041\ t + 0.9739)} \right] f'_{c\ PA\ 10\%\ 28} \quad (3)$$

$$f'_{c\ PN\ 15\%.(t)} = \left[\frac{t}{(3.3375\ t + 0.9829)} \right] f'_{c\ PA\ 15\%\ 28} \quad (4)$$

$$f'_{c\ PN\ 20\%.(t)} = \left[\frac{t}{(3.4921\ t + 0.9702)} \right] f'_{c\ PA\ 20\%\ 28} \quad (5)$$

Dari perhitungan kekuatan tekan beton untuk masing-masing variasi pond ash, selanjutnya dikonversikan terhadap kuat tekan umur 28 hari, kecuali sample pada umur uji 1 hari tidak diperhitungkan. Kekuatan tekan yang dihasilkan beton variasi campuran bahan pond ash sebagai pengganti pasir, diperoleh grafik hubungan antara kekuatan tekan beton pond ash terhadap variasi kadar pond ash yang digunakan. Hasilnya seperti ditunjukkan pada grafik Gambar 7.

Kenaikan kekuatan tekan rata-rata terhadap variasi kadar pond ash adalah sebesar 25,79 MPa; 26,60 MPa; 27,32 MPa dan 26,87 MPa dari kuat tekan normal/kontrol yang rata-rata nilainya sebesar 25,05 MPa. Atau terjadi peningkatan masing-masing 2,96%; 6,18%; 9,07% dan 7,28% terhadap beton normal.

Gambar 7. Kekuatan tekan beton optimum.

Persamaan nilai kuat tekan berdasarkan fungsi waktu menurut ACI 209.2R-08, untuk lima variasi penelitian meningkatkan bersama dengan bertambahnya kadar pond ash sampai 15%, tetapi setelah itu mengalami penurunan kuat tekan.

Untuk menentukan kadar pond ash optimum dengan bantuan grafik polinomial diperoleh hasil kekuatan tekan 25,05 MPa untuk beton normal, kekuatan tekan maksimum 27,32 MPa untuk beton pond ash 15% dan kekuatan tekan optimum sebesar 27,06 MPa dengan penggantian pond ash sebesar 17,5% terjadi peningkatan kuat tekan beton 8,05%.

Persamaan nilai kuat tekan berdasarkan fungsi waktu menurut ACI 209.2R-08, untuk lima variasi penelitian meningkat bersama dengan bertambahnya kadar pond ash sampai 15%, tetapi setelah itu mengalami penurunan kuat tekan, maka persamaan nilai kuat tekan berdasarkan fungsi waktu ditentukan oleh persamaan dengan kadar pond ash optimum diperoleh hasil ditunjukkan Gambar 8 grafik hubungan rasio kuat tekan dengan umur pada beton pond ash optimum.

Gambar 8. Rasio kuat tekan dan umur pada beton *pond ash optimum*.

Berdasarkan Gambar 8 hubungan persamaan kuat tekan dengan fungsi waktu dapat dituliskan seperti dalam persamaan 6.

$$f'_{cPN Opt.}(t) = \left[\frac{t}{(3.4187t + 0.984)} \right] f'_{cPA Opt 28} \quad (6)$$

Selanjutnya dilakukan validasi persamaan 1; 2; 3; 4, 5 dan 6 dengan menghitung kuat tekan dari hasil perumusan tersebut. Hasil perhitungan ini dibandingkan dengan kuat tekan hasil pengujian. Perbandingan kedua nilai tersebut diplotkan dalam Gambar 9 grafik hubungan antara kuat tekan hasil rumusan dan kuat tekan hasil pengujian.

Gambar 9. Perbandingan kuat tekan hasil pengujian dan hasil persamaan.

Jika dibandingkan dengan garis ekuitas, maka kuat tekan hasil perhitungan ada yang menghasilkan nilai yang over estimate dan ada juga yang memberikan hasil yang under estimate. Pada umur 1 hari hasil perhitungan tidak menyimpang jauh dari posisi garis ekuitas, setelah itu pada umur 3 dan 7 hari hasil perhitungan kuat tekan menghasilkan nilai over estimate berarti nilai hasil pengujian lebih rendah dari hasil persamaan dapat dinyatakan bahwa proses pengerasan kuat tekan beton lambat, sedangkan pada umur 14, 28 hari dan seterusnya terjadi sebaliknya yaitu menghasilkan kuat tekan dibawah garis ekuitas atau under estimate berarti nilai hasil pengujian lebih tinggi dari hasil persamaan sehingga dapat dinyatakan bahwa proses pengerasan kuat tekan beton semakin cepat berdasarkan analisa garis ekuitas.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa persamaan hubungan kuat tekan dengan fungsi waktu dan perbandingan antara kuat tekan hasil pengujian terhadap kuat tekan hasil persamaan dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton menggunakan *pond ash* sebagai pengganti sebagian agregat halus untuk peningkatan kuat tekan terhadap waktu diperoleh kuat tekan yang rendah pada umur beton muda yakni umur beton sampai 14 hari, tetapi kuat tekan beton meningkat dan melampaui hasil persamaan setelah umur 21 hari dan seterusnya. Hal ini terjadi karena semen yang digunakan adalah semen portlan komposit (PCC)

dengan bahan tambah sejenis kapur dan silika. Bahan *pond ash* sebagian besar juga mengandung kapur dan silika, sehingga beton menggunakan campuran *pond ash* turut mendukung proses peningkatan kekuatan tekan beton yang lambat pada beton umur muda tetapi pada akhirnya menjadi normal setelah umur di atas 28 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 1992, Annual Book of ASTM Standars. Section 4 Construction, Volume 04.02 Concrete Aggregates, Philadelphia.
- [2] ACI 209.2R-08, 2008, Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete. Reported by ACI Committee 209 ISBN 978-0-87031-278-6. Farmington Hills, MI 48331 U.S.A.
- [3] Annual Book of ASTM C 33-90. 1992. Standard specification for concrete aggregates.
- [4] ASTM C 39/C39M – 12a, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, October 2012.
- [5] ASTM C 494/C 494M – 99, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
- [6] Bagwan, K. M., Kulkarni, Dr. S. S. A Study of Characteristic and Use of Pond Ash for Construction Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 4, Issue 6, June 2014.
- [7] Bhungani, Hiren., Akbari. Y. V. (2015) Use Waste Material of Sikka Power Plant- (Mound Ash) in Concrete Replacement as Fine Aggregate. IJSRD/Vol. 3/Issue 02/2015/564).
- [8] Durán-Herrera, A; Juárez C.A; Valdez, P; Bentz, D.P, 2011. Evaluation of sustainable high-volume fly ash concretes. Cement & Concrete Composites 33 (2011) 39–45.
- [9] Mehta, P.K and Monteiro,P.J.M (2005). Concrete: Microstructure, Properties and Materials, 3rd Ed, McGraw-hillProfessional.
- [10] Neville, A M; Brooks, J J. (2010) Concrete Technology, second edition, Longman Scientific & Technical.
- [11] Rathod, Mihir., Sharma, Shipra. (2015) Review on the Use of both Fly-Ash and Pond-Ash in Concrete Mix Design. IJSRD / Vol. 2/Issue 12/2015/056.
- [12] Singh, Malkit; Siddique, Rafat., 2013. Effect of coal bottom ash as partial replacement of sand on properties of concrete, Resources, Conservation and Recycling 72 (2013) 20– 32.
- [13] Teuku Ishlah dan Hendro Fujiono, 2008. Evaluasi konservasi sumber daya batubara di sekitar Tanjung Redep Kabupaten Berau Kalimantan Timur, Subdit Konservasi Kementerian ESDM.
- [14] Tim Kajian Batubara Nasional. 2006. Batubara Indonesia, Kelompok Kajian Kebijakan Mineral dan Batubara, Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- [15] Tumingan, (2017) Splitting Tensile of Concrete With Pond Ash as Replacement of Fine Aggregate, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), Volume 4, Issue 10, October 2017.
- [16] Tumingan, M. W Tjaronge, Rudy Djamaluddin and Victor Sampebulu, (2016), Penyerapan dan Porositas pada Beton Menggunakan Bahan Pond Ash Sebagai Pengganti Pasir, Politeknologi VOL. 15 No. 1 Januari 2016, ISSN: 2407-9103.

- [17] Tumingan, Tjaronge, M W., Djamaluddin, Rudy., dan Sampebulu, Victor., Compression Strength Of Concrete With Pond Ash As Replacement Of Fine Aggregate, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 9, No. 12, December 2014.