

SIFAT MEKANIK KUAT TARIK BELAH DAN POROSITAS BETON MENGUNAKAN LIMBAH ABU BATUBARA (*POND ASH*)

Tumingan¹⁾

¹⁾ Staf Pengajar Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Dr. Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan Samarinda
Email : tumingan@yahoo.co.id

Abstrak . Kumpulan hasil endapan abu batubara hasil pembakaran pembangkit listrik tenaga uap dalam kolam pengendap dinamakan Pond Ash. Penelitian ini memanfaatkan pond ash untuk campuran beton, dengan menguji pengaruh penggunaan pond ash sebagai pengganti sebagian agregat halus optimum dalam campuran beton, 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 beton dengan faktor air semen konstan 0,49 berdasarkan hasil rancangan campuran beton normal $f'c$ 25 MPa. Pengujian beton keras dilakukan terhadap kuat tarik belah dan porositas dalam campuran beton. Hasil pengujian menetapkan kadar optimum agregat pond ash dalam campuran beton diperoleh komposisi pond ash optimum 16,9% hasil pengujian kuat tarik belah beton. Komposisi optimum untuk bahan campuran pasir 20,6% : pond ash 16,9% : batu pecah 62,5%. Hasil pengujian kuat tarik belah beton diperoleh hasil 2,459 MPa untuk beton normal dan 2,659 MPa untuk beton pond ash optimum, terjadi peningkatan sebesar 8,15% terhadap beton normal. Hasil pengujian porositas terjadi penurunan pada beton pond ash karena bahan pond ash lebih halus dapat mengisi rongga antara partikel pembentuk beton, dengan pola penurunan porositas berbanding dengan peningkatan kuat tarik belah beton.

Kata kunci: Beton pond ash, Sifat mekanik, Kuat tarik belah dan Porositas.

1. Pendahuluan

Salah satu solusi pemenuhan listrik adalah pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Uap, tetapi operasional PLTU menghasilkan limbah padat berupa abu batubara. Berdasarkan bentuk butirannya ada yang lembut seperti debu disebut abu terbang batubara (*fly ash* batubara) butirannya terbang terkena tiupan angin, berdimensi sangat halus setara lolos saringan #200. Limbah abu batubara lainnya berbentuk kasar disebut abu dasar batubara (*bottom ash* batubara), butirannya seperti pasir berwarna hitam ke abu-abuan tidak mengkilat [1, 2]. *Fly ash & Bottom ash* bersifat non plastis dan tidak berkoheisi.

Pond ash terdiri dari fraksi halus dari abu batubara yang disebut sebagai abu terbang/ *fly ash*, yang dikumpulkan di debu elektrostatis (*electrostatic precipitators* / ESP), dan abu yang dikumpulkan di dasar boiler yang disebut sebagai abu dasar/ *bottom ash*. Abu dasar, abu terbang, abu bawah dll dicampur bersama-sama diangkut ke daerah tambak penimbunan abu dengan memberikan aliran air atau sebaliknya dan disimpan di kolam abu dalam kondisi tercampur dikenal dengan abu kolam/ *pond ash* [3]. *Fly ash* dan *bottom ash* dicampur dengan air dan dibuang di kolam disebut sebagai abu kolam / *pond ash* [4]. 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* [5]. Semua PLTU di Kalimantan Timur, sistem pengelolaan limbah abu dilakukan dengan cara menimbun pada kolam abu / *pond ash* sesuai rekomendasi Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Provinsi Kalimantan Timur.

Memperhatikan kondisi tersebut, dalam penelitian ini dicoba mencari solusi pemanfaatan bahan *pond ash* untuk bahan pembuatan beton. Berdasarkan gradasinya, *pond ash* memenuhi persyaratan agregat halus masuk zona 3 [6], maka dicoba memanfaatkan *pond ash* untuk 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 dan berapa proporsi / komposisi yang optimum untuk campuran beton?. 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 tarik belah beton dan mikrostruktur beton dalam campuran antara beton normal dan beton *pond ash*.

1.1. Beton *pond ash*

Beton *pond ash* adalah batuan hasil dari campuran agregat, semen dan air sebagai hidrasi ditambah *pond ash* sebagai pengganti sebagian pasir yang mengeras dengan komposisi tertentu. Penelitian yang berhubungan dengan limbah abu batubara sebenarnya sudah banyak tetapi bahan limbah yang digunakan terpisah antara abu terbang batubara dan abu dasar batubara. Disini dicoba dengan menggabungkan antara kedua jenis abu batubara tersebut menjadi satu sesuai kondisi di lapangan yang menerapkan pengelolaan limbah abu batubara ditempatkan menjadi satu kolam pembuangan (*pond ash*).

Beberapa peneliti yang mencoba memanfaatkan limbah *pond ash* sbagai bahan beton antara lain : [3] Penggunaan limbah berbahaya (*pond ash*) dalam pembuatan beton akan menyebabkan lingkungan yang hijau & teknologi beton berkelanjutan, kuat tekan beton meningkat sesuai peningkatan umurnya, kekuatan tarik belah beton dan kekuatan lentur beton meningkat pada penambahan 20% pengganti pasir, serta penggunaan *pond ash* membuat beton lebih ekonomis. [5] Limbah termal *pond ash* dan *bottom ash* dapat digunakan penggantian agregat halus dalam beton, workability menurun sesuai peningkatan persentase *pond ash*, pada kadar *pond ash* 30 - 40% dalam campuran beton meningkatkan kuat tekan, kuat lentur dan kekuatan tarik belah beton, tetapi density beton menurun mengikuti peningkatan persentase penggantian pasir dengan *pond ash*. Penelitian tentang pemanfaatan bahan *pond ash* sebagai pengganti semen (25 - 45%), persentase *pond ash* meningkat, kekuatan tekan beton berkurang, hasil penelitian [4].

1.2. Material Penyusun Beton

Semen Portland

Sifat-sifat kimia dari bahan pembentuk mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan, hasil susunan kimia yang terjadi diperoleh senyawa dari semen portland seperti yang tunjukan pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Senyawa Utama Semen Portland [7]

No	Nama Senyawa	Rumus Kimia / Notasi	Nama Mineral
1	Trikalsium Silicate	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 / \text{C}_3\text{S}$	Alite
2	Dicalcium Silicate	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 / \text{C}_2\text{S}$	Belite
3	Tricalcium Aluminate	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{C}_3\text{A}$	Aluminate
4	Tetracalcium Aluminoferrite	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \text{FeO}_3 / \text{C}_4\text{AF}$	Ferrite

Persentase berat dari C3S, C2S, C3A dan C4AF dalam semen portland dapat dihitung dengan rumus yang awalnya dikembangkan oleh Bogue dan diadopsi dari ASTM C150. Hidrasi semen sangat kompleks sehingga reaksi dari masing-masing unsur semen dalam bentuk silikat (C3S dan C2S) dan aluminat (C3A dan C4AF) dianalisa masing-masing secara tunggal.

1.3. 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 :

a. Kuat tarik belah

Parameter kuat tarik beton secara tepat sulit untuk diukur. Suatu pendekatan yang umum untuk mengukur nilai kuat tarik beton dengan pengujian kuat tarik belah beton yang memberikan hasil yang mencerminkan besarnya kuat tarik yang sebenarnya. Pengujian kuat tarik belah digunakan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang terbuat dari beton menggunakan agregat. Tata cara pengujian kuat tarik belah beton yang dilakukan berdasarkan ASTM C496/C496M-11, dimana kuat tarik belah beton diukur dengan melakukan pengujian pembelahan silinder yang umum diberikan sebagai kekuatan tarik beton f_{ct} .

b. Porositas Beton

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan volume pori-pori (volume yang dapat ditempati fluida) terhadap volume total beton. Ruang pori pada beton umumnya terjadi akibat kesalahan dalam pelaksanaan dan pengecoran seperti: faktor air-semen yang berpengaruh pada lekatan antara pasta semen dengan agregat, besar kecilnya nilai slump, pemilihan tipe susunan gradasi agregat gabungan, maupun terhadap lamanya pemadatan. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada beton maka semakin besar mutu beton itu sendiri, sebaliknya semakin besar porositas beton, maka kekuatan beton akan semakin kecil. Perhitungan nilai porositas mengacu pada ASTM C 642 – 90.

2. Pembahasan

Pengujian awal untuk menentukan komposisi campuran, terlebih dahulu dilakukan pengujian material penyusun beton (semen, pasir, batu dan pond ash). Hasil penelitian terhadap bahan beton diperoleh sebagai berikut :

Semen Portland. Sifat-sifat kimia dari bahan pembentuk mempengaruhi kualitas semen, hasil pengujian susunan kimia dalam bentuk susunan oksida dari semen portland komposit dibandingkan dengan semen portlan dalam [7] ditunjukkan pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Susunan Oksida Semen Portland [7]

No.	Oksida	Hasil Uji (%)	Syarat Neville (%)
1	Kapur (CaO)	64,25	60 – 67
2	Silika (SiO ₂)	19.44	17 – 25
3	Alumunia (Al ₂ O ₃)	0.52	3 – 8
4	Besi (Fe ₂ O ₃)	2.36	0,5 – 6
5	Magnesia (MgO)	0.48	0,1 – 4
6	Sulfur (SO ₃)	0.35	0,5 – 1

Agregat. Beberapa sifat karakteristik agregat pasir, batu pecah dan pond ash, berdasarkan hasil analisis pengujian diperoleh hasil seperti tercantum dalam Tabel 3. Penyerapan pond ash sangat tinggi mempengaruhi keperluan air untuk campuran.

Tabel 3. Hasil pengujian karakteristik Pasir, Batu pecah dan *pond ash* [6, 8, 9]

No	Karakteristik	Pasir	Batu Pecah	<i>Pond ash</i>
1	Bobot isi	1,362	1,522	0,859
2	Berat jenis SSD	2,547	2,718	1,868
3	Penyerapan (%)	1,40	0,80	37,93
4	Kadar Air (%)	1,256	1,142	1,275
5	Abrasion Los Angeles (%)	---	16,6	---

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.

Dari hasil gradasi gabungan awal, selanjutnya 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 bahan campuran beton 5 variasi rencana, hasil pengujian kadar air dan penyerapan agregat serta hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, diperhitungkan dalam format rancangan campuran beton sesuai SNI 03-2834-2000, hasil perhitungan keperluan bahan tiap 1 m³ [6, 9] adalah seperti tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan komposisi bahan untuk campuran beton

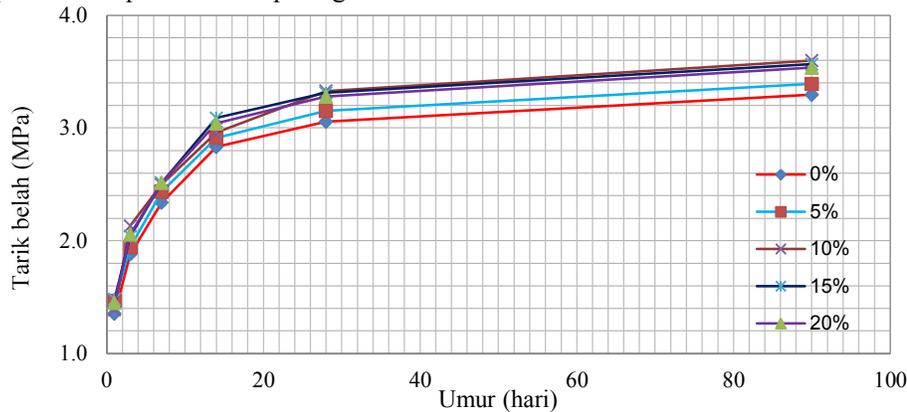
No.	Komposisi pond ash	Komposisi bahan campuran (Kg/m ³)				
		Semen	Air	Pasir	<i>Pond ash</i>	Agregat kasar

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

Dari masing-masing komposisi bahan dibuatkan benda uji sesuai bentuk dan ukurannya, pada pengujian tahap ini adalah untuk menentukan kadar *pond ash* optimum dari 5 variasi yang diujikan. Hasil untuk masing-masing pengujian dijelaskan sebagai berikut :

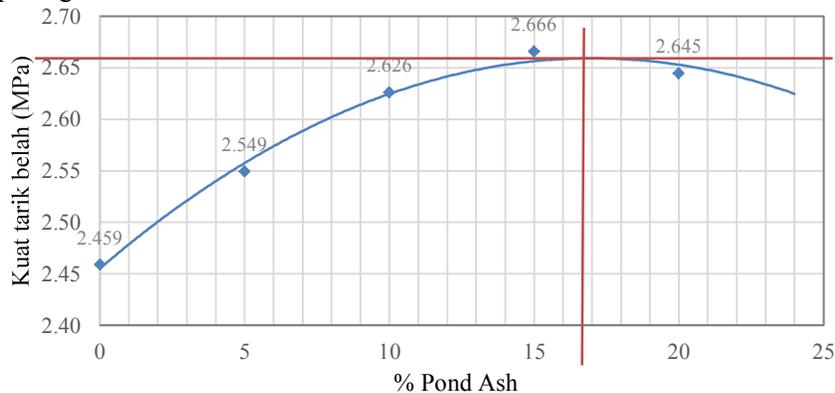
2.1. Kuat tarik belah beton

Hasil pengujian kuat tarik belah beton untuk beton normal dan beton dengan penggantian pasir terhadap *pond ash* diperoleh hasil pada gambar 1.



Gambar 1. Hubungan kuat tarik belah beton terhadap umur.

Pada gambar 1 pola peningkatan kuat tarik belah beton sama seperti pola peningkatan kuat tekan beton pada umumnya, dimana kekuatan tarik belah pada umur awal juga rendah untuk beton *pond ash*. Memperhatikan hal ini dapat dinyatakan kalau kuat tarik belah beton *pond ash* mempunyai karakteristik peningkatan kekuatan tarik belah yang sama pada berbagai umur dibandingkan dengan karakteristik peningkatan kekuatan tarik belah beton normal.



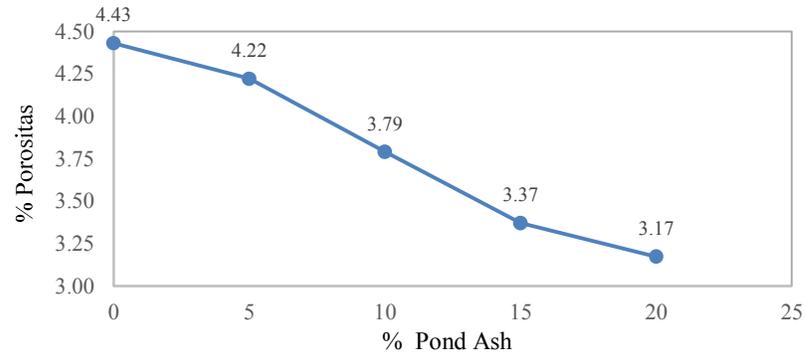
Gambar 2. Kekuatan tarik belah beton optimum.

Hasil perhitungan kekuatan tarik belah rata-rata untuk menentukan kadar *pond ash* optimum dengan bantuan grafik polinomial yang ditunjukkan pada gambar 2, diperoleh hasil kekuatan tarik belah beton 2,459 MPa untuk beton normal, kekuatan tarik belah beton maksimum 2,666 MPa untuk beton *pond ash* 15% dan kekuatan tarik belah beton optimum sebesar 2,659 MPa dengan penggantian *pond ash* sebesar 16,9% atau terjadi peningkatan kuat tekan beton sebesar 8,15% terhadap kekuatan tarik belah beton normal.

2.2. Analisis Porositas Beton

Porositas beton adalah tingkatan yang menggambarkan kepadatan campuran bahan beton, dan berhubungan erat dengan permeabilitas beton, yakni prosentase pori-pori atau ruang kosong dalam beton terhadap volume total beton. Porositas diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga kerapatan tidak maksimal.

Hasil analisa pengujian porositas atau rongga dalam campuran beton diperoleh hasil pada gambar 3. Beton yang dibuat dengan menggunakan pond ash sebagai pengganti agregat halus mengurangi porositas bila dibandingkan dengan beton normal yang dibuat tanpa bahan pengganti pond ash. Hal ini terjadi karena gradasi bahan pond ash lebih kecil atau lebih lembut dari agregat pasir, maka pond ash akan mengisi rongga-rongga antara pasir dan pasta semen.



Gambar 3. Hubungan porositas dengan kadar pond ash.

Beton yang dibuat dengan menggunakan pond ash sebagai pengganti agregat halus mengurangi porositas bila dibandingkan dengan beton normal yang dibuat tanpa bahan pengganti pond ash. Hal ini terjadi karena gradasi bahan pond ash lebih kecil atau lebih lembut dari agregat pasir, maka pond ash akan mengisi rongga-rongga antara pasir dan pasta semen.

3. Simpulan

Berdasarkan hasil analisa terhadap kuat tekan beton dan morfologi mikrostruktur bahan untuk pembuatan campuran beton dan hasil analisa pola peningkatan kekuatan terhadap 5 variasi pengujian dapat disimpulkan :

- Berdasarkan karakteristik bahan campuran beton pond ash sebagai pengganti pasir diperoleh komposisi pond ash optimum sebesar 16,9% terhadap bahan untuk campuran beton, diperoleh perbandingan/komposisi bahan pasir 20,6% : pond ash 16,9% : batu pecah 62,5% dengan hasil kekuatan tarik belah 2,459 MPa untuk beton normal dan 2,659 MPa untuk beton pond ash optimum atau terjadi peningkatan sebesar 8,15% terhadap beton normal.
- Beton yang dibuat menggunakan *pond ash* menurunkan angka porositas dalam campuran beton karena bahan *pond ash* lebih halus, menyebabkan pori-pori dalam campuran diisi oleh bahan *pond ash* sehingga campuran lebih rapat dan lebih padat. Hasil ini sesuai dengan peningkatan kekuatan tarik belah beton sampai batas optimum.

Daftar Pustaka

- <http://lampost.co/berita/pln-hadapi-kendala-tangani-limbah-abu-batubara>, Di akses pada tanggal 16 Mei 2015, 15:21.
- <http://diskominfo.kaltimprov.go.id/berita-pltu-teluk-balikpapan-ditarget-beroperasi--2015-.html>, Sabtu, 26 Maret 2013). Di akses pada tanggal 16 Mei 2015, 17:42.
- 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).
- 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).
- 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.

- [6]. 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.
- [7]. Neville, A M; Brooks, J J. (2010) *Concrete Technology*, second edition, Longman Scientific & Technical.
- [8]. 1992, *Annual Book of ASTM Standars*. Section 4 Construction, Volume 04.02 Concrete Aggregates, Philadelphia.
- [9]. 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.