

Analisis Pemanfaatan Limbah B3 Batubara dan Gamping Serbuk sebagai Bahan Tambah Semen terhadap Kekuatan Beton

Ifa Aulia Chusna¹, Muhammad Wildan Ilyasa¹, Rahmat Aditya¹, Tedy Agung Cahyadi¹, Heru Suharyadi¹

¹ Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Korespondensi : chusna.aulia20@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebanyak 497 pembangkit listrik merupakan salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat (Renstra Direktorat Ketenagalistrikan, 2015). Semakin banyak PLTU di Indonesia, maka limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang dihasilkan dari sisa pembakaran batubara yang berupa *fly ash* dan *bottom ash* pun meningkat. Limbah B3 ini dapat mencemari lingkungan jika tidak dikelola dan dimanfaatkan dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan optimal beton jika dilakukan pemanfaatan limbah B3 batubara dan batugamping sebagai bahan tambah semen. Pengujian yang digunakan adalah pengujian kuat tekan. Waktu pencetakan sampel dengan bentuk tabung adalah 28 hari dengan volume 196,40 cm³. Sampel A sebagai sampel indikator yang berkomposisi semen, pasir, dan kerikil dengan perbandingan 1:2:3. Sampel B berbahan tambah semen batugamping, sampel C berbahan tambah semen *bottom ash*, dan sampel D berbahan tambah semen *fly ash*. Perbandingan bahan tambah semen pada setiap sampel adalah 5%, 15%, dan 18% terhadap volume semen pada sampel A. Kadar penggunaan serbuk gamping sebagai bahan tambah semen adalah 5-15%, sedangkan penggunaan *fly ash* optimal pada kadar 15-18%, dan penggunaan *bottom ash* hanya optimal pada kadar 5%. Kata kunci: Bahan tambah semen, Batugamping, *Bottom ash*, *Fly ash*, kuat tekan

ABSTRACT

The planning of 497 steam power plants (PLTU) is one solution in meeting the growing electricity needs (Strategic Plan of Directorate of Electricity, 2015). The development of PLTU in Indonesia, then the waste of Hazardous and Toxic Materials (B3) due to the remaining burning of coal in the form of fly ash and bottom ash is increasing. This B3 waste can pollute the environment if not managed and used properly. This research aims to find out optimal strength if the fly ash, bottom ash, and limestone are used for cement-added materials. The test used is a compression strength test. The molding time of the tube-shaped sample is 28 days with a volume of 196.40 cm³. Sample A as a sample indicator consisting of cement, sand, and gravel with a ratio of 1:2:3. Sample B is made of limestone, sample C is made of bottom ash, and sample D is made of fly ash. The comparison of cement-added materials in each sample was 5%, 15%, and 18% of the cement volume in sample A. The level of use of limestone as a cement added material is 5-15%, while the use of fly ash is optimal at 15-18% content, and the use of bottom ash is only optimal at 5% content.

Keyword: bottom ash, cement-added material, compressive strength test, fly ash, limestone.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang terus meningkat di Indonesia mendorong kebutuhan energi listrik menjadi kebutuhan pokok sehingga tingkat penggunaan energi listrik setiap tahunnya mengalami peningkatan. Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Perusahaan Listrik Negara (RUPTL PLN) 2019-2028 [2], terdapat peningkatan kebutuhan batubara sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebanyak 4,78%/tahun dan kenaikan kebutuhan listrik sebesar 66,2 kWh/kapita. Pemenuhan kebutuhan listrik tidak pernah terlepas dari penggunaan bahan fosil, pada dewasa ini, penggunaan batubara berkisar 60% dari sumber energi. Penggunaan bahan batubara sebagai bauran energi nasional yang masih tinggi menjadikan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menjadi salah satu solusi dalam produksi energi listrik. Perencanaan yang diagendakan adalah 179 unit PLTU dari 497 unit pembangkit listrik yang akan dibangun [3]. Selain menghasilkan listrik, PLTU juga menghasilkan bahan sisa yang tergolong dalam Bahan Beracun dan Berbahaya (B3) yakni *fly ash* dan *bottom ash* dari hasil pembakaran batubara.

Fly ash dikategorikan sebagai limbah “non-hazardous” dan tidak menimbulkan pencemaran pada air, tetapi dapat menjadi polutan ketika berada di udara. *Fly ash* yang masuk ke saluran pernapasan dapat menyebabkan penyempitan, pembengkakan lapisan, dan penyumbatan parsial oleh lendir [14]. Namun, *fly ash*

yang berupa material berbutir halus berwarna keabu-abuan memiliki sifat *pozzoland* yang berarti bahan tersebut dapat bereaksi dengan kapur padam (aktif) dan air pada suhu kamar sehingga membentuk senyawa yang dapat dan tidak larut dalam air (SNI S-15-1990-F). *Pozzoland* dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan dari beton sehingga *fly ash* dapat menjadi kunci pada pemeliharaan beton [14]. *Bottom ash* adalah sisa pembakaran batubara yang mengendap dan ukuran agregatnya lebih besar dari *fly ash*. Pemanfaatan limbah *fly ash*, *bottom ash*, dan batugamping dapat digunakan sebagai bahan tambah semen karena memiliki kandungan unsur yang sama dengan semen (tabel 2).

Bahan tambah semen adalah bahan yang digunakan untuk mengurangi penggunaan semen dalam beton. Beton yang menggunakan bahan tambah semen berupa serbuk gamping dengan kadar 5% memiliki kekuatan tertinggi, sedangkan kekuatan terendah terdapat pada beton dengan kadar bahan tambah semen 20% [13]. Sehingga pada penelitian ini menggunakan persentase kadar sebesar 5%, 15%, dan 18%. Dengan bertambahnya kadar bahan tambah semen, maka kadar semen yang digunakan semakin menurun. Misalnya pada sampel dengan bahan tambah semen 15%, maka semen yang digunakan adalah 85% dari semen pada komposisi sampel A. Perbandingan komposisi untuk mendapatkan beton dengan mutu tinggi adalah 1: 2: 3 (V semen : V pasir : V kerikil = 16,7% : 33,3% : 50%)[4]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan optimal beton jika ditambahkan bahan tambah semen yang berupa batugamping, *fly ash*, dan *bottom ash*. Bahan tambah tersebut akan dicampurkan dalam komposisi beton dengan cara mengurangi kadar semen yang digunakan sejumlah persen kadar bahan tambah terhadap volume semen sehingga dapat mengurangi penggunaan semen untuk bahan konstruksi dan melakukan pemanfaatan limbah yang dihasilkan secara berkelanjutan oleh penyediaan energi berupa PLTU.

2. METODE PENELITIAN

Penulisan karya tulis ini menggunakan metode pengujian dengan cara pencetakan sampel beton dengan komposisi yang telah diperhitungkan berdasarkan perhitungan volume dan kadar bahan tambah masing-masing kode sampel. Urutan dalam penelitian ini sebagai berikut:

2.1 Persiapan alat

Alat yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

1. *Mold* sample dengan perbandingan diameter : lebar = $\pm 0,50$
2. Piknometer untuk menguji masaa jenis bahan.
3. Ayakan 4#; 8#; dan 35# untuk menyeragamkan ukuran partikel yang digunakan sebagai agregat kasar dan halus.
4. Alat kuat tekan hidrolik digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan sampel.
5. Cawan.
6. Sekop dan sendok.
7. Jangka sorong untuk mengukur diameter dan tinggi sampel
8. Kuas.
9. Gerinda dan amplas.
10. Pelat penekan yang digunakan untuk mendistribusikan tegangan agar lebih merata pada sampel.
11. Timbangan gantung dan neraca Ohaus untuk mengukur massa.
12. *Waterpass* untuk mengukur sudut kemiringan permukaan.

2.2 Persiapan bahan

Bahan yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah (gambar 1):

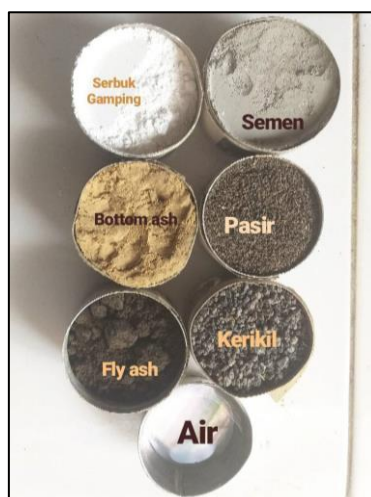
1. Semen
2. Air
3. Pasir sebagai agregat halus (-0,425 mm)
4. Pasir sebagai agregat kasar (-4,75+2 mm)
5. Serbuk gamping
6. *Fly ash* yang didapatkan dari PLTU Tanjung Jati, Jepara
7. *Bottom ash* yang didapatkan dari PLTU Tanjung Jati, Jepara

2.3 Pengukuran massa jenis bahan

Massa jenis material yang berupa semen, pasir, serbuk gamping, *fly ash*, dan *bottom ash* diukur dengan menggunakan piknometer, sedangkan kerikil diukur dengan menggunakan berat jenis dan bantuan air sebagai pengisi volume rongga. Berikut ini adalah hasil pengukuran massa jenis bahan:

Tabel 1. Hasil pengukuran massa jenis bahan

Bahan	Massa jenis (gram/cm ³)
Pasir	1,43
Semen	2,53
Serbuk Gamping	1,78
<i>Bottom Ash</i>	2,38
<i>Fly Ash</i>	2,00
Kerikil	1,37



Gambar 1. Bahan-bahan pembuatan beton

2.4 Pencetakan sampel

Bahan baku yang telah diperhitungkan berdasarkan kadarnya, selanjutnya dicampur dengan air dan dicetak pada cetakan beton yang berbentuk silinder dari bahan paralon. Namun, bagian dalam sampel harus diberikan olesan oli agar ketika sampel sudah kering, sampel dapat dilakukan pelepasan dari cetakan dengan mudah. Sampel pada pengujian ini dicetak selama lima hari sehingga nilai kekuatannya harus diperhitungkan dengan faktor pengali untuk 28 hari yaitu 0,4 agar memiliki nilai kekuatan yang sama jika sampel dicetak selama 28 hari. 28 hari merupakan umur beton ketika beton akan memiliki kekuatan maksimum dan sudah kering secara keseluruhan (SNI 03-2847-2002).



Gambar 2. Pencetakan beton

2.5 Preparasi sampel

Sampel perlu dilakukan preparasi sebelum dilakukan pengujian dengan alat kuat tekan hidrolik, agar permukaan bagian atas rata dan memiliki sudut kemiringan dalam batas wajar. Preparasi yang dilakukan adalah pemotongan ujung sampel yang tidak rata dengan gerinda dan menghaluskan kemiringan yang rendah dengan amplas.

2.6 Pengujian sampel

Sampel diuji dengan alat kuat tekan hidrolik sehingga akan didapatkan nilai kekuatan beton.

2.7 Pengolahan data

Data yang dihasilkan melalui pengujian akan dianalisis sehingga menghasilkan data kekuatan optimal dari semua data.

3. HASIL DAN ANALISIS

Bahan tambah semen yang berupa limbah pembakaran batubara pada PLTU didapatkan dari PLTU Tanjung Jati B yang berlokasi di Jepara, Jawa Tengah. Tipe *fly ash* yang dihasilkan oleh PLTU tersebut adalah *fly ash* tipe F karena memiliki kandungan kapur yang rendah ($\text{CaO} < 10\%$) (ASTM C618). Berikut ini adalah kandungan dari bahan tambah semen yang digunakan pada pengujian ini:

Tabel 2. Kandungan pada *fly ash*, *bottom ash*, batugamping, dan semen [13][7] (SNI 15-2049-2004)

Kandungan	Jumlah pada <i>fly ash</i> (%)	Jumlah pada <i>bottom ash</i> (%)	Jumlah pada batugamping (%)	Jumlah pada semen (%)
Al_2O_3	25,9132	0,0755	0,648	6
CaO	2,9569	24,373	47,02	58
Fe_2O_3	12,9123	0,1211	0,596	6
SiO_2	54,662	0,7062	0,728	20
Total	96,4	25,2758	48,992	90

Proses pengeringan beton yang tidak dilakukan selama 28 hari, perlu dikalikan dengan faktor nilai kuat beton selama 28 hari yaitu 0,4 dengan urutan perhitungan, sebagai berikut:

$$F = n \times \text{diff} \quad (1)$$

$$P_0 = \frac{F}{A} \times 10 \quad (2)$$

$$P_1 = \frac{P_0}{0,4} \quad (3)$$

Keterrangan:

F : Gaya (kN); didapatkan melalui pengujian pada alat kuat tekan hidrolik

n : Skala kuat tekan maksimum

diff : Satu kali pembebanan pada skala (per 2,5 kN)

P_0 : Kuat tekan selama 5 menit (MPa)

A : Luas penampang sampel (cm^2)

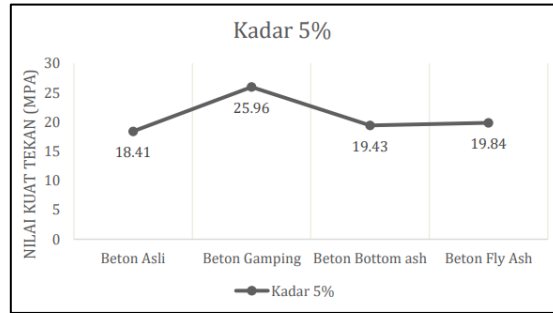
P_1 : Kuat tekan selama 28 hari (MPa)

0,4 : Faktor pengkali untuk beton umur 28 hari dari 5 hari (SNI PBI-1977)

Komposisi penyusun sampel beton disesuaikan dengan jumlah bahan tambah yang digunakan, sebagai berikut:

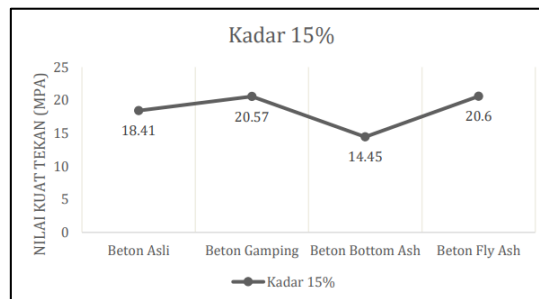
Tabel 3. Komposisi dan hasil pengukuran kuat tekan sampel

No	Komposisi Sampel	Kadar Bahan Tambah	Diameter sampel (cm)	Hasil Uji Kuat Tekan (MPa)
A	Semen, pasir, kerikil, dan air	-	5,50	18,41
B1	Semen, serbuk gamping, pasir, kerikil, dan air	5%	5,53	25,96
B2	Semen, serbuk gamping, pasir, kerikil, dan air	15%	5,90	20,57
B3	Semen, serbuk gamping, pasir, kerikil, dan air	18%	5,69	22,06
C1	Semen, <i>bottom ash</i> , pasir, kerikil, dan air	5%	5,72	19,43
C2	Semen, <i>bottom ash</i> , pasir, kerikil, dan air	15%	5,74	14,45
C3	Semen, <i>bottom ash</i> , pasir, kerikil, dan air	18%	5,80	11,82
D1	Semen, <i>fly ash</i> , pasir, kerikil, dan air	5%	5,66	19,84
D2	Semen, <i>fly ash</i> , pasir, kerikil, dan air	15%	5,56	20,60
D3	Semen, <i>fly ash</i> , pasir, kerikil, dan air	18%	5,96	22,38



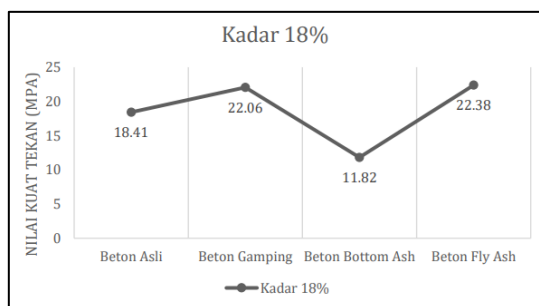
Gambar 1. Perbandingan kuat tekan beton pada kadar 5%

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sampel A didapatkan nilai kuat tekan sebesar 18,41 MPa. Sampel B1 dan C1 mengalami kenaikan dari sampel A dengan nilai sebesar 7,55 MPa dan 1,02 MPa, sedangkan sampel D1 mengalami penurunan sebanyak 1,43 MPa. Dari semua bahan tambah semen yang digunakan pada kadar 5% mengalami kenaikan nilai kuat tekan terhadap sampel indikator atau sampel A. Jadi, dapat disimpulkan bahwa sampel B1 memiliki kekuatan tertinggi pada kadar 5% dan penggunaan *fly ash* dan *bottom ash* kurang optimal dalam menambah kekuatan beton.



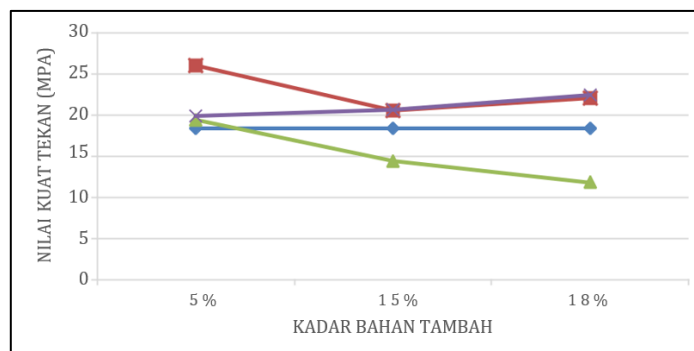
Gambar 2. Perbandingan kuat tekan beton pada kadar 15%

Pada grafik tersebut, hanya sampel C2 saja yang mengalami penurunan dari sampel A, sedangkan sampel B2 dan D2 mengalami kenaikan. Berdasarkan nilai kuat tekan pada sampel A, sampel B2 mengalami kenaikan sebesar 2,16 MPa dan sampel D2 mengalami kenaikan sebesar 2,19 MPa, tetapi sampel C2 mengalami penurunan nilai kuat tekan sebesar 3,96 MPa. Nilai pada sampel B2 dan D2 hanya memiliki selisih 0,03 MPa sehingga dapat disimpulkan bahwa pada kadar bahan tambah 15%, penggunaan gamping serbuk dan *fly ash* dapat optimal dalam menambah kekuatan beton.



Gambar 4. Perbandingan kuat tekan beton pada kadar 18%

Berdasarkan grafik kadar bahan tambah semen 18% terdapat kenaikan nilai kuat pada sampel B3 sebesar 3,65 MPa dan D3 sebesar 3,97 MPa terhadap sampel A, sedangkan sampel C3 mengalami penurunan sebesar 6,59 MPa terhadap sampel A. Jadi, nilai kuat tekan tertinggi pada grafik tersebut adalah sebesar 22,38 MPa pada sampel D3, sehingga penggunaan *fly ash* pada kadar ini optimal, sedangkan penggunaan *bottom ash* dan gamping serbuk tidak optimal pada kadar 18%.



Gambar 5. Nilai kuat tekan beton pada sampel a (◆), sampel b (■), sampel c (▲), dan sampel d (×)

Pada grafik tersebut, nilai kuat tekan tertinggi adalah sampel B dengan kadar 5% dan nilai kuat tekan terendah adalah sampel C dengan kadar 18%. Sampel B1 ini memiliki nilai interval sebesar 7,55 MPa terhadap sampel A, sedangkan pada sampel C3 memiliki nilai interval sebesar 6,59 MPa. Pada sampel B, nilai kuat tekan yang didapatkan lebih tinggi dibandingkan jenis sampel lainnya. Berdasarkan analisis pada setiap kadar, maka penggunaan gamping serbuk optimal pada 5-10%, bottom ash hanya optimal pada kadar 5% saja, dan *fly ash* optimal pada kadar 15-18%.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil dan analisis adalah penggunaan bahan tambah pada batugamping dan *fly ash* dapat meningkatkan kekuatan dari beton. Kadar penggunaan serbuk gamping sebagai bahan tambah semen adalah 5-15%, sedangkan penggunaan *fly ash* optimal pada kadar 15-18%, dan penggunaan *bottom ash* hanya optimal pada kadar 5%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan paper ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak. Peneliti secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Peneliti banyak mendapatkan arahan, petunjuk, serta dorongan dari berbagai pihak, baik secara moral maupun material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Society for Testing and Materials. C 618-93. *Standard Test Method for Fly Ash and Raw or calcined Natural Pozzolan for Use as a mineral Admixture in Portlan Cement Concrete*. American Society for Testing of Concrete's. 1991
- [2] Direktorat Ketenagalistrikan. 2019. "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Perusahaan Listrik Negara (RUPTL PLN) 2019-2028". Jakarta
- [3] Kementerian ESDM. 2015. "Renstra Direktorat Jendral Ketenagalistrikan 2015-2019". Jakarta.
- [4] Made Astawa Rai, Dkk. 2014. "Mekanika Batuan". Bandung. Penerbit Itb.
- [5] Nurzal, Nurzal; Mahmud, Joni. Pengaruh Komposisi Fly Ash terhadap Daya Serap Air Pada Pembuatan Paving Block. *Jurnal Teknik Mesin*, 2013, 3.2.
- [6] Nurzal, Nurzal; Zakir, Zepriady. Pengaruh Komposisi Fly Ash terhadap Kuat Tekan Pada Pembuatan Paving Block. *Jurnal Teknik Mesin (Jtm)*, 2015, 4.1
- [7] PLTU Tanjung Jati B. 2014. "Laporan Fly Ash Dan Bottom Ash". Jepara
- [8] Standar Nasional Indonesia. 03-2847-2002. *Tata Cara perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum. 2002
- [9] Standar Nasional Indonesia. 15-2049-2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional. 2004
- [10] Standar Nasional Indonesia. PBI-1977. *Persyaratan Beton Bertulang Indonesia*. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. 1977.
- [11] Standar Nasional Indonesia. S-15-1990-F. *Pemayaran Mutu Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan Dalam Campuran Beton*. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum. 1990
- [12] Tatiana, Gita Malida. *Substitusi Kadar Semen Menggunakan Serbuk Batu Gamping pada Beton High Strength Concrete (Hsc)*. 2016. Phd Thesis. Universitas Pendidikan Indonesia.
- [13] Widiarso, Dian Agus; Kusuma, Istiqomah Ari; Fadhilillah, Ajiditya Putro. Penentuan Potensi Sumberdaya Batu Gamping sebagai Bahan Baku Semen Daerah Gandu dan Sekitarnya, Kecamatan Bogorejo, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. *Teknik*, 2017, 38.2: 92-98.
- [14] Wradani, Sri Prabandiyani Retno. Pemanfaatan limbah batubara (Fly Ash) untuk stabilisasi tanah maupun keperluan teknik sipil lainnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan. 2008.