

INOVASI *MORTAR PLESTER RAMAH LINGKUNGAN* DENGAN MENSUBSTITUSI SEBAGIAN SEMEN DARI *FLY ASH* HASIL PEMBAKARAN *SAND DRYER*

Frebhika Sri Puji Pangesti¹, Ade Ariesmayana², Nurul Sofian³

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Banten Jaya, Jl. Raya Ciwaru II No.73 Kota Serang, Banten

Email: frebhikasripujipangesti@unbaja.ac.id
adeariesmayana@unbaja.ac.id

ABSTRAK

Kemajuan perkembangan ilmu dan pengetahuan dalam bahan bangunan yang semakin meningkat sehingga semakin banyak pula inovasi material bangunan yang beragam. Salah satu inovasi yang pernah diterapkan adalah pemanfaatan fly ash sebagai substitusi untuk mengurangi pemakaian semen disetiap campuran bahan konstruksi menjadi bangunan ramah lingkungan. Namun inovasi ini diperuntukkan kedalam campuran plester yang bertujuan untuk meratakan tembok. Pengujian eksperimen ini menggunakan fly ash dari hasil pembakaran sand dryer yang direncanakan yaitu 1,625% (sampel A), 3,25% (sampel B), 4,875% (sampel C) dan 6,5% (sampel D) dan diuji dengan sampel pembanding (sampel blanko) untuk diuji perbedaan warna aplikasi, flow, compress, dan pull off yang mengikuti pedoman ASTM C 109 dan EN 1015-12. Berdasarkan hasil penelitian bahwa semakin banyaknya penggunaan fly ash akan mempengaruhi warna aplikasi yang bermula abu-abu menjadi coklat dan kualitas plester cenderung menurun. Namun pada sampel A dengan penggunaan fly ash 1,625% dapat diterapkan karena masih diatas standar sesuai metode ASTM C 109 dan EN 1015-12.

Kata kunci: Mortar Plester; Ramah Lingkungan; Fly Ash

1. PENDAHULUAN

Kemajuan perkembangan ilmu dan pengetahuan dalam bahan bangunan yang semakin meningkat sehingga semakin banyak pula inovasi material bangunan yang beragam. Salah satu inovasi yang sudah diterapkan adalah pemanfaatan fly ash sebagai substitusi untuk mengurangi pemakaian semen disetiap campuran bahan konstruksi. Inovasi material ramah lingkungan menjadi semakin penting bagi para perancang untuk peka terhadap lingkungan dengan memproduksi produk yang tidak mengandung bahan beracun dan berbahaya. PT. X merupakan salah satu industri di Kabupaten Tangerang yang bergerak dibidang konstruksi atau bahan bangunan seperti semen instan atau mortar, dan perekat. Untuk mencukupi kebutuhan energi, PT. X menggunakan batubara sebagai bahan pemanasan untuk mengeringkan pasir sehingga dapat menurunkan kadar air pada pasir tersebut. Dalam kebutuhan batubara pada proses sand dryer yang menggunakan drum dryer mencapai 1 ton/hari dengan suhu yang di butuhkan yaitu 800-850°C sehingga menghasilkan limbah fly ash dan bottom ash. Inovasi yang dimaksud dalam penelitian ini yaitu memanfaatkan fly ash sebagai substitusi sebagian semen kedalam produk mortar plester dengan komposisi fly ash yang tepat sehingga tidak mengurangi kualitas standar produk plester tersebut. Manfaat yang diperoleh dari inovasi tersebut dapat mengurangi pemakaian semen, mengurangi jumlah timbulan limbah fly ash, dapat menjadikan sebagai green product dan mengurangi dampak pencemaran lingkungan diarea PT. X sebagai upaya untuk mengolah kembali (recycle) limbah hasil pembakaran batubara pada proses sand dryer sehingga dapat memproduksi bahan bangunan yang ramah lingkungan dan dapat meminimalkan bahaya dari limbah fly ash tersebut serta tidak membahayakan ekosistem atau lingkungan. Penggunaan material ramah lingkungan ini diharapkan tidak hanya dijadikan sebagai trend, namun dapat diterapkan oleh berbagai perusahaan dibidang konstruksi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Rencana penelitian ini akan diuji dengan sampel pembanding (sampel blanko) dengan menggunakan fly ash dari hasil pembakaran batubara pada proses sand dryer sebagai substitusi sebagian semen yang akan direncanakan sebagai berikut:

Tabel 1. Perentase Kebutuhan Material

Material	Fly Ash (%)	Semen (%)	Kalsit (%)	Pasir (%)
Blanko	-	13	10	77
A	1,625	3	10	77
B	3,25	3	10	77
C	4,785	3	10	77
D	6,5	3	10	77

Prosedur Penelitian

Uji Penggunaan Air (*Workability*) dan *Pull Off* (Daya Rekat)

Berikut prosedur penggunaan air (*workability*) dan pengujian *pull off* (daya rekat) :

1. Timbang 3 kg masing-masing variasi sampel
2. Tambahkan air secara bertahap diawali 16% hingga didapat *workability* yang tepat
3. Aduk selama 30 detik menggunakan *mixer* dan diamkan 5 menit
4. Selama menunggu 5 menit, bersihkan substrat (batu bata ringan) agar bebas dari kotoran, basahi substrat dengan air sampai jenuh, biarkan air meresap dan didapati substrat yang lembab.
5. Adukan kembali 15 sampel detik menggunakan sendok semen sebelum di aplikasikan. Kemudian aplikasikan diatas substrat secara merata menggunakan sendok semen, kemudian ratakan dengan jidar hingga didapat ketebalan aplikasi 1 cm, amati perbedaan warna aplikasi dalam kondisi basah dan amati perbedaan warna setelah aplikasi mengering ± 24 jam dengan sampel pembanding (blanko)
6. Setelah aplikasi kering, buat sayatan cetakan berbentuk kotak 5 x 5 cm diatas permukaan aplikasi dengan menggunakan pemotong gerinda sebanyak maksimal 12 sayatan
7. Simpan hasil aplikasi dalam kondisi ruang $23 \pm 2^\circ\text{C}$
8. Lakukan penempelan *doly* 24 jam sebelum pengujian *pull off* dengan *epoxy* diatas sayatan cetakan yang telah dibuat.
9. Lakukan pengujian *pull off* pada umur 7 hari dan 28 menggunakan alat *Pull Off Tester Proceq DY-216* dan standar EN 1015-12 2016 yaitu lebih dari $0,3 \text{ N/mm}^2$.

Tabel 2. Toleransi Waktu Pengujian *Pull Off*

Umur Uji	Toleransi Waktu
7 hari	± 3 jam
28 hari	± 12 jam

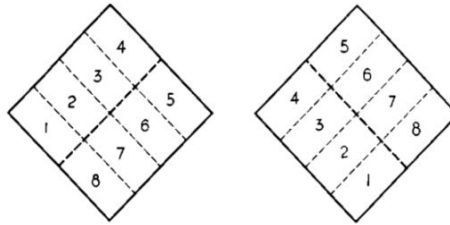
(Sumber : EN 1015-12:2016, 2016)

Toleransi penggunaan air yaitu 16%-19% yang bertujuan agar mudah di aplikasikan kedinding dan kualitas tetap terjaga. Jika penggunaan air lebih dari toleransi maka tidak dilanjutkan ke pengujian berikutnya (*pull off* dan *compress*) dan hanya dapat pengamatan perubahan warna aplikasi saja. Tetapi dalam pengujian *workability* ini hanya dapat dirasakan dan diamati saja. Jika kekurangan air, dapat dirasakan secara adukan agak sulit dan juga terlihat dehidrasi dan jika kelebihan air, adukan akan terasa ringan dan terlihat cair. Pengamatan adukan yang ideal ialah tidak terasa berat jika diaduk dan adukan tidak cair.

Uji *Compress* (Kuat Tekan)

Berikut prosedur pengujian *compress* (kuat tekan) :

1. Siapkan cetakan kubus benda uji atau cetakan *compress* yang sudah diberikan pelumas (solar) agar sampel tidak menempel pada alat ketika kering
2. Timbang masing-masing variasi sampel 800 gram kedalam wadah kemudian tambahkan air di mulai dari 16-19%, kemudian aduk menggunakan *mixer* selama 30 detik dan jika dirasa cukup 16% secara *workability* maka tidak disarankan untuk penambahan air begitupun jika *workability* kurang cukup maka tambahkan air hingga batas toleransi secara bertahap
3. Masukkan adukan kedalam masing-masing kubus dalam cetakan sebanyak setengah dari ketinggian kubus
4. Kemudian lakukan penumbukan menggunakan kayu persegi panjang (*tamper*) sebanyak 32 kali dalam 4 kali putaran, seperti arah putaran pada **Gambar 1**.



Putaran 1 dan 3 Putaran 2 dan 4
Gambar 1. *Molding of test specimens*
 (Sumber : ASTM C-109, 2020)

- 5 Masukkan kembali sisa adukan kedalam masing-masing kubus hingga penuh dan dilebihkan sedikit dari batas atas cetakan, lakukan kembali seperti pada nomor 5
- 6 Ratakan adukan menggunakan raskam, biarkan selama 24 jam pada suhu ruang $23\pm 2^{\circ}\text{C}$
- 7 Setelah sampel mengering, keluarkan sampel dari cetakan beri identitas sampel
- 8 Kemudian rendam sampel kedalam air kapur selama 7 hari dan 28 hari
9. Setelah sampel sudah berusia 7 hari dan 28 hari angkat sampel dari rendaman, kemudian bilas sampel menggunakan air agar tidak ada pengotor yang menempel, lalu lap dengan majun kering dan uji *compress* menggunakan alat *ELE International Compression Machine ADR auto 2000 BS* standar ASTM C-109 yaitu lebih dari 4 N/mm^2 .

Tabel 3. *Toleransi Waktu Pengujian Compress*

Umur Uji	Toleransi Waktu
7 hari	± 3 jam
28 hari	± 12 jam

(Sumber : ASTM C-109, 2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penggunaan Air (*Workability*) dan Pengujian *Pull Off*

Pengujian *pull off* dilakukan untuk mengendalikan kualitas dari plester tersebut dan mematuhi standar EN 1015-12 2016 yaitu lebih dari $0,3 \text{ N/mm}^2$. Pengambilan data nilai *pull off* setiap masing-masing variasi sampel yaitu 18 kali untuk mencukupin pengujian di usia 7 hari dan 28 hari dengan menggunakan alat *Pull Off Tester Proceq DY-216*. Berikut hasil penelitian *workability* dan *pull off* :

Tabel 4. Hasil Pengujian *Workability* dan *Pull Off*

Jenis pengujian	Kebutuhan Fly Ash									
	0%		1.625%		3.25%		4.875%		6.5%	
	Blanko		A		B		C		D	
Ratio Air (Workability)	17%		17%		18,5%		19%		21%	
Pull Off	N/mm ²	Mode of failure	N/mm ²	Mode of failure	N/mm ²	Mode of failure	N/mm ²	Mode of failure	N/mm ²	Mode of failure
7 hari	0,42	CFA	0,45	CFA	0,22	CFA	0,06	AFS	-	-
	0,49	CFA	0,44	CFA	0,16	CFA	0,04	AFS	-	-
	0,57	CFA	0,24	CFA	0,17	CFA	0,08	AFS	-	-
	0,39	AFS	0,46	CFA	0,17	AFS	0,04	AFS	-	-
	0,57	CFA	0,47	CFA	0,18	AFS	0,07	AFS	-	-
	0,55	CFA	0,36	CFA	0,18	CFA	0	AFS	-	-
	0,39	AFS	0,36	AFS	0,16	CFA	0,05	AFS	-	-
	0,47	AFS	0,34	AFS	0,19	CFA	0,04	AFS	-	-
	0,44	AFS	0,53	AFS	0,17	CFA	0,06	AFS	-	-
Average	0,48		0,41		0,18		0,05		-	-
28 hari	0,82	CFA	0,55	CFA	0,32	AFS	0,15	AFS	-	-
	0,93	CFS	0,7	CFA	0,28	AFS	0,19	AFS	-	-
	0,78	CFA	0,68	CFA	0,21	AFS	0,13	AFS	-	-
	0,96	CFA	0,49	AFS	0,36	AFS	0,16	AFS	-	-
	0,73	CFA	0,52	AFS	0,24	AFS	0,15	AFS	-	-
	0,91	CFA	0,6	AFS	0,25	AFS	0,17	AFS	-	-
	0,84	CFA	0,54	CFA	0,22	CFA	0,12	CFA	-	-
	0,85	CFA	0,61	CFA	0,23	CFA	0,14	CFA	-	-
	0,7	CFA	0,58	CFA	0,21	CFA	0,14	CFA	-	-
Average	0,84		0,59		0,26		0,15		-	-

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023)

Menurut ASTM C 270 batas aman penggunaan air (*workability*) untuk mortar plester yaitu 16%-19% agar memiliki kekuatan daya rekat dan kuat tekan yang baik. Namun pada sampel D sudah melewati batas toleransi penggunaan air lebih dari 19%, maka pada sampel D tidak direkomendasikan untuk dilanjutkan pengujian *pull off* maupun *compress*. Pada keterangan hasil nilai *pull off* rata-rata yaitu AFS (*adhesion failure between adhesive and substrate*) artinya sampel plester ikut ketarik tanpa meninggalkan bekas di media batu bata ringan dan CFA (*cohesion failure within the adhesive*) yaitu sampel plester ikut ketarik yang meninggalkan sisa plester di media batu bata ringan.

Berbagai variasi sampel yang diuji dalam pengujian *pull off* hanya sampel A yang berhasil dengan penggunaannya *fly ash* 1,625%. Penurunan nilai *pull off* berpengaruh terhadap penggunaan *fly ash*. Faktor tersebut menyebabkan kualitas daya rekat menjadi menurun maka kurang baik jika diaplikasikan ke media tembok rumah sungguhan karena tembok akan sensitif terhadap getaran dan tidak tahan lama.

Hasil Pengujian *Compress*

Pengerjaan pengujian *compress* diuji dengan masing-masing variasi sampel sebanyak 18 sampel untuk menguji diusia 7 hari dan 28 hari dengan menggunakan alat *ELE International Compression Machine ADR auto 2000 BS*. Berikut hasil pengujian *compress* yang terlihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Compress* Pada Percobaan I, II, dan III

PERCOBAAN I	Kebutuhan <i>Fly Ash</i>									
	Blanko		A		B		C		D	
	0%		1.625%		3.25%		4.875%		6.5%	
	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²
<i>Compress</i> (7 hari)	23,7	9,5	19,9	8	12,4	5	0	0	-	-
	29,7	11,9	19	7,6	10	4	0	0	-	-
	29,1	11,6	19,7	7,9	9,8	3,9	8,6	3,4	-	-
<i>Average</i>	11,00		7,83		4,30		1,13		-	
<i>Compress</i> (28 hari)	18,9	11,6	25,7	10,3	17,8	7,1	14,8	5,9	-	-
	33,3	13,3	26,1	10,4	19,1	7,6	15	6	-	-
	29,3	11,7	26,5	10,6	19,7	7,9	15,1	6	-	-
<i>Average</i>	12,20		10,43		7,53		5,97		-	
PERCOBAAN II	Kebutuhan <i>Fly Ash</i>									
	Blanko		A		B		C		D	
	0%		1.625%		3.25%		4.875%		6.5%	
	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²
<i>Compress</i> (7 hari)	22,6	9	16,3	6,5	14,6	5,9	11,1	4,4	-	-
	23,5	9,4	17,2	6,9	13,9	5,6	11	4,4	-	-
	22,5	9	16,1	6,5	14,1	5,6	11,4	4,5	-	-
<i>Average</i>	9,13		6,63		5,70		4,43		-	
<i>Compress</i> (28 hari)	30,1	12	21,4	8,6	18,9	7,5	19,2	7,7	-	-
	32,2	12,9	22,1	8,8	19,4	7,8	19,2	7,7	-	-
	29,1	11,6	23	9,2	20,9	8,3	19,8	7,9	-	-
<i>Average</i>	12,17		8,87		7,87		7,77		-	
PERCOBAAN III	Kebutuhan <i>Fly Ash</i>									
	Blanko		A		B		C		D	
	0%		1.625%		3.25%		4.875%		6.5%	
	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²	KN	N/mm ²
<i>Compress</i> (7 hari)	23,8	9,5	17,9	7,2	11,7	4,7	10,7	4,3	-	-
	22,9	9,2	18,7	7,5	11,8	4,7	8,7	3,5	-	-
	22,5	9	17,9	7,1	10,8	4,3	10,6	4,2	-	-
<i>Average</i>	9,23		7,27		4,57		4,00		-	
<i>Compress</i> (28 hari)	29,3	11,7	19,4	7,8	17,4	6,9	17,6	7	-	-
	28,5	11,4	23,3	9,3	19,1	7,7	16	6,4	-	-
	28,3	11,3	22,4	9	18,5	7,4	17,2	6,9	-	-
<i>Average</i>	11,47		8,70		7,33		6,77		-	
Rata-rata <i>Compress</i> (7 hari) Percobaan I, II, dan III	9,79		7,24		4,86		3,19		-	
Rata-rata <i>Compress</i> (28 hari) Percobaan I, II, dan III	11,94		9,33		7,58		6,83		-	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023)

Dari penelitian tugas akhir Albert B. R tahun 2020 menyimpulkan bahwa limbah *fly ash* yang dimanfaatkan sebagai substitusi semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan (*compress*). Tetapi limbah *fly ash* hasil pembakaran *sand dryer* tidak menunjukkan bahwa *fly ash* dapat meningkatkan nilai kuat tekan. Pengujian *compress* dari masing-masing variasi sampel ini memang masuk standar, hanya saja nilai *compress* tersebut cenderung menurun. Artinya semakin banyak penggunaan *fly ash* akan menurunkan kualitas dari *compress* tersebut.

Efisiensi Material Semen

Penelitian ini memang difokuskan pada efisiensi material semen dari material semen yang terpakai disubstitusikan dengan *fly ash*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan bahwa semakin tingginya penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen cenderung menurun yang sudah dibuktikan dari hasil pengujian *pull off* dan *compress*. Tetapi yang bisa dikatakan berhasil dari penelitian ini yaitu pada sampel A dengan penggunaan *fly ash* sebanyak 1,625%. Karena pada sampel A tidak nampak terlalu jauh jika dibandingkan dengan hasil penelitian sampel Blanko sebagai sampel pembandingan pemanfaatan *fly ash* yang diperbolehkan yaitu 15-35%. Dari percobaan skala kecil ini yang berhasil yaitu sampel A atau 1,625%, maka bisa dihitung kadar *fly ash* yang digunakan menurut SNI 03-6468-2000 yaitu :

$$\text{Kadar fly ash} = \frac{\text{berat fly ash}}{\text{berat fly ash} + \text{berat semen}} \times 100$$

$$\text{Kadar fly ash} = \frac{81,25 \text{ gram}}{81,25 \text{ gram} + 568,75 \text{ gram}} \times 100$$

$$\text{Kadar fly ash} = 12,5\%$$

Dari hasil kadar *fly ash* yang didapat yaitu 12,5%, maka dapat dikatakan bahwa dengan substitusi sebagian semen sebanyak 1,625% yang memiliki kadar *fly ash* 12,5% masih terbilang aman sehingga dapat diterapkan kedalam pembuatan plesteran karena hasil kadar *fly ash* 12,5% masih dibawah minimal batasan penggunaan *fly ash* yang diperbolehkan menurut SNI 03-6468-2000 dan efisiensi material semen hanya 12,5% dari total pemakaian semen pada plesteran. Pemenuhan Kriteria Material Ramah Lingkungan

Dalam penelitian ini, dari seluruh material yang digunakan sudah memenuhi kriteria material ramah lingkungan. Limbah batubara (*fly ash*) juga sering dimanfaatkan dalam dunia konstruksi. Alasan penggunaan limbah batubara sebagai pengganti semen karena relatif terjangkau (lebih murah) dan lebih ramah lingkungan. Begitupun juga dapat meringankan masalah penumpukan limbah *fly ash* yang dihasilkan, dan menjadikan material yang berkelanjutan sehingga dapat dipromosikan sebagai material ramah lingkungan.

Dari beberapa sumber yang menerangkan tentang kriteria ramah lingkungan limbah hasil dari pembakaran batubara dari proses *sand dryer* yang berupa limbah *fly ash* telah memenuhi kriteria sebagai material ramah lingkungan. Namun ada satu point yang belum memenuhi kriteria yaitu penggunaan material harus bersertifikat ramah lingkungan (*eco labelling*). Dalam penelitian ini memang belum ada upaya untuk perizinan sertifikat material ramah lingkungan (*eco labelling*) sebelum data hasil penelitian membuktikan bahwa *fly ash* hasil pembakaran batubara dari proses *sand dryer* dapat dibuktikan berhasil agar bisa dipakai sebagai substitusi semen.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

1. Berikut hasil pengujian *flow*, *compress*, dan *pull off* setiap variasi sampel :
 - a. Hasil rata-rata nilai pengujian *compress* usia 7 hari sampel Blanko 9,79 N/mm², sampel A 7,24 N/mm², sampel B 4,86 N/mm², dan sampel C 3,19 N/mm² dan pada usia 28 hari sampel Blanko 11,94 N/mm², sampel A 9,33 N/mm², sampel B 7,58 N/mm², dan sampel C 6,83 N/mm².
 - b. Hasil rata-rata nilai pengujian *pull off* usia 7 hari sampel Blanko 0,48 N/mm², sampel A 0,41 N/mm², sampel B 0,18 N/mm², dan sampel C 0,05 N/mm² dan pada usia 28 hari sampel Blanko 0,84 N/mm², sampel A 0,59 N/mm², sampel B 0,26 N/mm², dan sampel C 0,15 N/mm².
2. Penentuan keberhasilan pengujian dapat diambil dari usia 28 hari baik pada parameter *compress* menyesuaikan standar pedoman ASTM C 109 dan *pull off* yang menyesuaikan pedoman EN 1015-12 2016, yang dapat di rekomendasikan untuk diterapkan sebagai substitusi semen sebagian kedalam plesteran yaitu pada sampel A dengan kebutuhan *fly ash* 1,625% karena tidak berbanding jauh dengan sampel pembandingan dan masih diatas standar yang telah ditentukan sehingga dapat mempertahankan kualitas dari produk plesteran tersebut
3. Berdasarkan keberhasilan penelitian ini yaitu pada sampel A dengan penggunaan *fly ash* 1,625% dan menurut SNI 03-6468-2000 batasan campuran penggunaan *fly ash* yang diperbolehkan yaitu 15-35%. Hasil perhitungan kadar *fly ash* yaitu 12,5% dari total pemakaian semen dan masih dibawah minimal yang diperbolehkan. Maka efisiensi material semen hanya 12,5% dari total pemakaian semen.
4. Kriteria material ramah lingkungan dari berbagai sumber menerangkan bahwa material *fly ash* hasil pembakaran batubara dari proses *sand dryer* sudah memenuhi kriteria sebagai material ramah lingkungan, namun upaya untuk perizinan sertifikat material ramah lingkungan (*eco labelling*) belum memenuhi karena melihat hasil pengujian terlebih dahulu.

3. UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT, karena kehendak dan ridhaNya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penulis menyadari ini tidak akan selesai tanpa doa, dukungan dan dorongan dari berbagai pihak

4. DAFTAR PUSTAKA

- Annur, S., Wati, M., Wahyuni, V., & Dewantara, D. (2019). *Development of Simple Machines Props Using Environmentally Friendly Materials for Junior High School*. 330(Iceri 2018), 91–95.
- ASTM C109/C109M-02. (2020). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. *Annual Book of ASTM Standards, 04, 9*.
- B.R, A. (2022). Penggunaan Fly Ash Sebagai Substitusi Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Menggunakan Silica Fume. *Penggunaan Fly Ash Sebagai Substitusi Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Menggunakan Silica Fume*.
- GBCI. (2013). Perangkat Penilaian GREENSHIP (GREENSHIP Rating Tools). *GreenShip New Building Versi 1.2, April*, 1–15.
- Kementerian PUPR. (2021). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2021 Tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Negara Republik Indonesia Nomor 08 Tahun 2010. (2010). Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 08 Tahun 2010 Tentang Kriteria Dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan. *Peraturan Menteri*.
- SNI 03-6468-2000. (2000). *Sni 03-6468-2000 Tata cara perencanaan campuran tinggi dengan semen portland dengan abu terbang* (p. 18).