

STUDI EKSPERIMENTAL APLIKASI MATERIAL *NANO FLY ASH* TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR BETON

Arini Wendy Astuti, Endo Fathias

Purwanto *), Han Ay Lie

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof Soedarto, SH., Tembalang, Semarang, 50239

Telp.: (024) 7474770, Fax.: (024) 7460060

ABSTRAK

Mortar merupakan material yang tersusun dari pasir dan semen. Setelah proses pencampuran dengan air, maka pada mortar akan terbentuk rongga-rongga yang sangat kecil. Penelitian ini menggunakan material *Fly Ash* sebagai bahan tambahan pada mortar, dimana *Fly Ash* yang memiliki gradasi lebih kecil dari pasir diharapkan dapat mengisi rongga-rongga yang ditinggalkan saat proses pencampuran mortar. *Fly Ash* yang digunakan pada penelitian ini merupakan bahan sisa dari pembakaran batu bara PLTU Jepara, sehingga diharapkan dengan penggunaan *Fly Ash* ini juga dapat memberikan kontribusi bagi lingkungan dengan mereduksi limbah.

Prinsip pengisian rongga dengan penambahan *Fly Ash* akan dikembangkan lebih jauh lagi pada penelitian ini, yaitu dengan menyadur teknologi untuk mengecilkan ukuran (teknologi *nano*) dengan menggunakan alat *Planetary Ball Mill* (PBM) yang akan diterapkan pada *Fly Ash*, sehingga menciptakan *Fly Ash Nano*. Dengan semakin mengecilnya ukuran *Fly Ash* menjadi *Fly Ash nano*, maka *Fly Ash* diharapkan dapat mengisi rongga yang lebih kecil lagi sehingga didapat kuat tekan yang lebih besar. Pada penelitian ini digunakan 3 variasi mortar yaitu Mortar Normal (MN), Mortar *Fly Ash* (MFA), dan Mortar *Nano Fly Ash* (MNFA), dengan variasi komposisi penambahan *Fly Ash* dan *Nano Fly Ash* berkisar antara 0% hingga 20%. Adapun perbandingan semen dan pasir digunakan sebesar 1 : 2,75, dengan besarnya FAS adalah 0,485. Dalam rangka mendapatkan hasil penelitian, maka benda uji akan dibuat ke dalam ukuran kubus 5 x 5 x 5 cm, dan akan diuji kuat tekannya dengan alat *Universal Testing Machine* di laboratorium bahan dan bangunan Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Data kuat tekan tersebut akan dianalisa sehingga didapatkan perbandingan nilai kuat tekan antara benda uji MN sebagai benda uji kontrol, terhadap MFA dan MNFA, sehingga dapat dilihat kenaikan kuat tekan dengan penambahan *Fly Ash* maupun *Nano Fly Ash*.

Hasil dari penelitian ini memperlihatkan bahwa penambahan material *Fly Ash* memberikan kontribusi terhadap Kuat Tekan Mortar. Hasil lebih baik ditunjukkan dengan penambahan *Nano Fly Ash*, dengan kuat tekan dari Mortar *Nano Fly Ash* mencapai 180% dari kuat tekan Mortar Normal. Dengan hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi nano akan meningkatkan kuat tekan mortar.

Kata kunci : Kuat Tekan; Mortar; *Fly Ash Nano*.

1. Pendahuluan

Teknologi nano adalah teknologi yang sangat berkembang dalam dunia teknologi saat ini. Dunia teknik sipil pun tak luput dari pengaplikasian teknologi nano untuk berbagai keperluan

*) Dosen Teknik Sipil Universitas Diponegoro

pengembangan material konstruksi. Teknologi nano adalah teknologi yang memungkinkan partikel material mempunyai ukuran sangat kecil dalam ukuran nanometer, dimana 1 nanometer adalah sebanding dengan 10^{-9} meter. Oleh sebab itu, teknologi ini dicoba diterapkan untuk material konstruksi, dalam rangka mencapai susunan material yang lebih padat sehingga dihasilkan kuat tekan yang lebih besar.

Prinsip untuk mendapatkan material lebih padat, dicoba diterapkan untuk mortar pada penelitian ini, dengan penggunaan material *fly ash* sebagai material tambahan dalam pencampuran mortar. Selain ukurannya yang lebih kecil, status *fly ash* sebagai material limbah pembakaran batubara juga diharapkan dapat menambah nilai material dalam mereduksi dampak buruk pengaruh limbah batubara. Teknologi nano pun diterapkan pada material *fly ash*, sehingga terbentuk material baru yaitu *fly ash nano*. Penggunaan material *fly ash nano* ini kemudian akan dilihat signifikansinya terhadap kuat tekan dari mortar. Mortar pada penelitian ini menggunakan ukuran standar yaitu 5 x 5 x 5 cm.

2. Material-material Penyusun Mortar

2.1. Semen

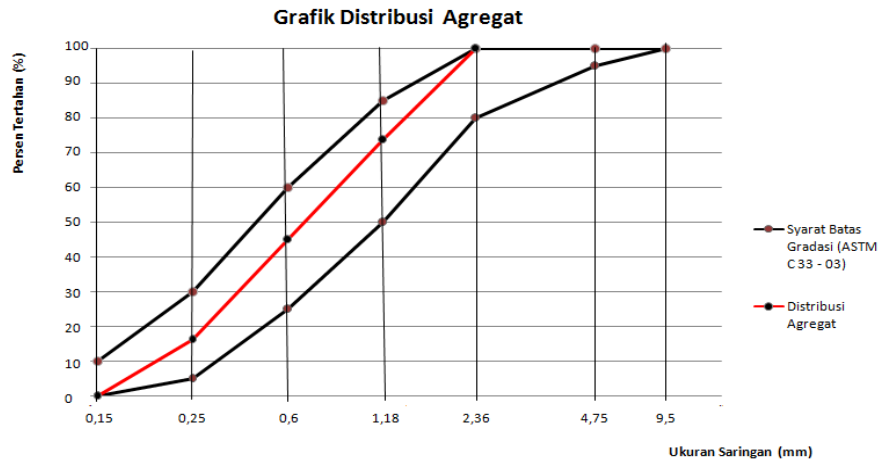
Semen merupakan material penyusun mortar yang memiliki fungsi sebagai material untuk mengikat antara material penyusun mortar. Ada 3 jenis semen yang umum digunakan yaitu semen tipe OPC (*Ordinary Portland Cement*), tipe PPC (*Pozzolan Portland Cement*), dan tipe PCC (*Portlan Cement Composite*). Pada penelitian ini digunakan semen tipe PCC merk Holcim.

2.2. Pasir

Pasir sebagai material pengisi dari mortar, mengisi hampir sebagian besar dari mortar. Pasir yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pasir yang berasal dari Muntilan. Pasir yang dipakai pada penelitian ini menggunakan gradasi batas yang tercantum dalam ASTM C 33-03, yang gradasinya dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 1.

Tabel 1. Gradasi Pasir

Diameter Saringan (mm)	Syarat Batas Gradasi (ASTM C 33 - 03)		Persen Tertahan (%)	Komulatif Tertahan (%)
	Batas Atas (%)	Batas Bawah (%)		
9.5	-	100	0	9.5
4.75	100	95	0	4.75
2.36	100	80	0	2.36
1.18	85	50	26.25	1.18
0.6	60	25	28.75	0.6
0.25	30	5	28.75	0.25
0.15	10	0	16.25	0.15
Total			100	



Gambar 1. Grafik Distibusi Agregat

2.3. Fly Ash/ Nano Fly Ash

Fly ash adalah material yang dipakai dalam penelitian ini, yang diharapkan dapat mengisi material mortar sehingga didapat material mortar yang lebih padat. *Fly ash* yang dipakai dalam penelitian ini merupakan hasil dari pembakaran batubara PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Jepara. *Fly ash* pada penelitian ini memiliki ukuran partikel antara 0,5 hingga 300 μm dan akan diperkecil dengan mesin PBM (Planetary Ball Mill) hingga memiliki ukuran nanometer (0-100 nm). Alat PBM dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Planetary Ball Mill

3. Mix Design Mortar

Mortar dalam penelitian ini dibagi 2 jenis, yaitu mortar dengan penggunaan *fly ash* dan mortar dengan penggunaan *nano fly ash*. Mortar dengan penggunaan *fly ash* akan dinamakan MFA, dan mortar dengan penggunaan *nano fly ash* akan diberi nama MNFA. Proporsi penambahan *fly ash/nano fly ash* bertahap mulai dari 0%, 5%, 10%, 15%, hingga 20%. Mortar pada penelitian ini menggunakan perbandingan campuran antara semen dan pasir adalah 1 : 2,75 dengan FAS 0,485, dimana setiap penambahan jumlah *fly ash/nano fly ash* akan mereduksi jumlah semen. Setiap proporsi akan dibuat sebanyak 3 buah benda uji, sehingga untuk setiap *mix design* dari masing-masing proporsi merupakan penjumlahan dari 3 buah benda uji

*) Dosen Teknik Sipil Universitas Diponegoro

dengan kubus mortar 5 x 5 x 5 cm. Detail dari *mix design* mortar pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Mix Design Mortar

	Semen (gram)	Pasir (gram)	Air (gram)	Fly Ash (gram)	Nano Fly Ash (gram)
MN	205.63	565.48	99.73	0	-
MFA 5%	195.3485	565.48	99.73	10.2815	-
MFA 10%	174.7855	565.48	99.73	20.563	-
MFA 15%	143.941	565.48	99.73	30.8445	-
MFA 20%	102.815	565.48	99.73	41.126	-
MNFA 5%	195.3485	565.48	99.73	-	10.2815
MNFA 10%	174.7855	565.48	99.73	-	20.563
MNFA 15%	143.941	565.48	99.73	-	30.8445
MNFA 20%	102.815	565.48	99.73	-	41.126

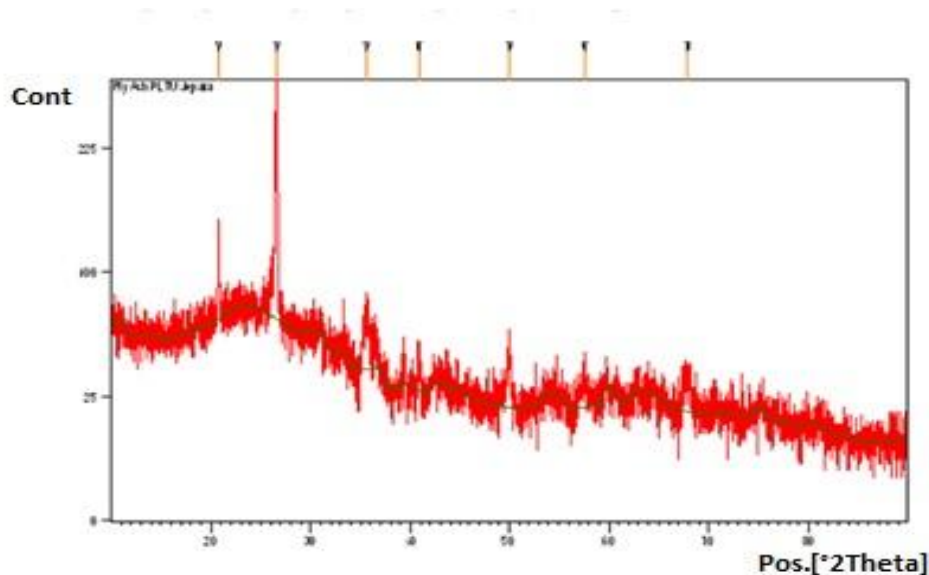
4. Hasil Pengujian dan Analisa

4.1. Hasil Uji XRD (*X-Ray Diffractometer*)

Analisa XRD diperlukan untuk menganalisa ukuran *fly ash* yang diperkecil ke ukuran *nano* dengan alat PBM. Analisa XRD dapat membantu untuk menganalisa apakah material *fly ash* sudah memiliki ukuran nano apa belum. Analisa XRD dilakukan di laboratorium Fakultas Sains dan Matematika Universitas Malang. Mesin XRD dapat dilihat pada gambar 3, dan hasil uji XRD dapat dilihat pada gambar 4 dan tabel 3.



Gambar 3. Mesin XRD



Gambar 4. Ouput Analisa XRD Nano Fly Ash

Tabel 3. Output Analisa XRD Nano Fly Ash

Pos.[°2Th.]	Height[cts]	FWHM[°2Th.]	d-spacing[Å]	Rel.Int.[%]
20.7688	63.59	0.1574	4.27701	25.3
26.5657	251.36	0.2165	3.35542	100
35.5568	31.99	0.4723	2.52488	12.73
40.8221	19.7	0.2362	2.21055	7.84
50.0299	23.71	0.2362	1.82317	9.43
57.5646	9.37	0.9446	1.60117	3.73
67.8905	13.5	0.96	1.37947	5.37

Data pada tabel 3 dianalisis menggunakan persamaan Scherrer berikut :

$$L = \frac{57,3 \times k \times \lambda}{\beta \times \cos \theta} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan penggunaan persamaan Scherrer, didapat analisa ukuran butir *nano fly ash* seperti yang disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Analisa Ukuran dengan Persamaan Scherrer

Puncak ke	2 θ (°)	Cos θ	K	λ (Amstrong = 10 ⁻¹⁰ m)	β	L (nm)	Rerata Ukuran Bulir Kristal (nm)
1	20.7688	0.9836	0.94	1.5406	0.1574	53.5969	
2	26.5657	0.9732	0.94	1.5406	0.2165	39.3814	
3	35.5568	0.9522	0.94	1.5406	0.4723	18.4504	
4	40.8221	0.9372	0.94	1.5406	0.2362	37.4846	29.7319
5	50.0299	0.9062	0.94	1.5406	0.2362	38.7677	
6	57.5646	0.8765	0.94	1.5406	0.9446	10.0229	
7	67.8905	0.8296	0.94	1.5406	0.96	10.4195	

*) Dosen Teknik Sipil Universitas Diponegoro

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa ukuran bulir kristal dari *nano fly ash* adalah 29,7319 nm. Syarat dari material dapat dikatakan material nano adalah bilamana material tersebut memiliki ukuran 0 – 100 nm, sehingga material *fly ash nano* pada penelitian ini dapat dikatakan material nano.

4.2. Hasil Uji Kuat Tekan 28 Hari

Seluruh benda uji akan dilakukan uji kuat tekan pada umur 28 hari. Uji kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin UTM (*Universal Testiing Machine*) merk Hung Ta di Laboratorium Bahan dan Bangunan Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Dari uji kuat tekan dengan mesin UTM didapat ouput berupa nilai kuat tekan yang dapat dilihat pada tabel 5 – 6.



Gambar 5. Dokumentasi Pengujian Kuat Tekan

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan MFA

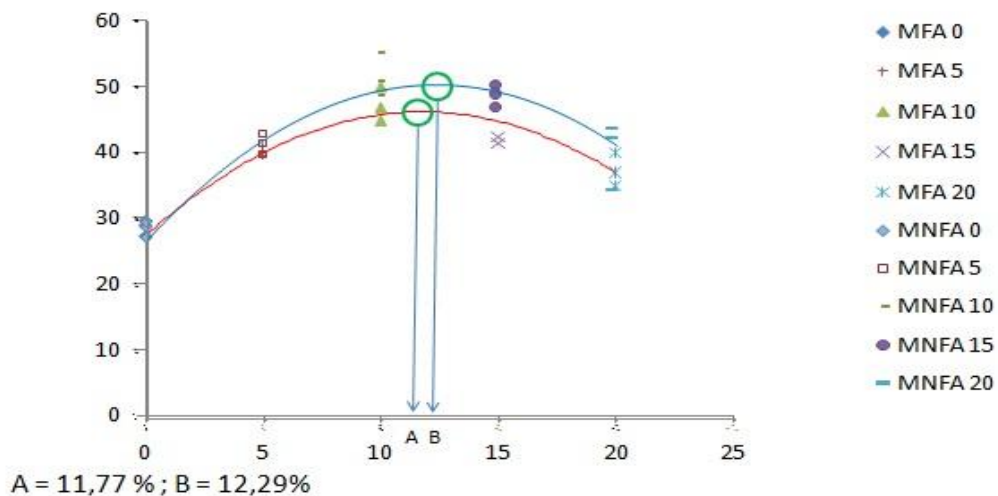
Kadar <i>Fly Ash</i>	NO	Area (mm ²)	Berat gram	Max Force (N)	Kuat Tekan MFA (Mpa)
0%	1	2500.00	290	68075	27.23
	2	2500.00	290	72225	28.89
	3	2500.00	290	74150	29.66
	Rata - rata	2500.00	290.00	71483.33	28.59
5%	1	2500.00	283.76	98900	39.56
	2	2500.00	287.78	99675	39.87
	3	2500.00	292.35	101850	40.74
	Rata - rata	2500.00	287.96	100141.67	40.06
10%	1	2500.00	293.45	112100	44.84
	2	2500.00	289.15	117100	46.84
	3	2500.00	287.85	124825	49.93
	Rata - rata	2500.00	290.15	118008.33	47.2
15%	1	2500.00	283.50	105950	42.38
	2	2500.00	285.45	103425	41.37
	3	2500.00	292.35	103375	41.35
	Rata - rata	2500.00	287.10	104250.00	42.51
20%	1	2500.00	292.90	87350	34.94
	2	2500.00	283.25	92300	36.92
	3	2500.00	289	99750	39.9
	Rata - rata	2500.00	288.38	93133.33	37.74

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan MNFA

Kadar <i>Fly Ash</i>	NO	Area (mm ²)	Berat (gram)	Max Force (N)	Kuat Tekan MNFA (Mpa)
0%	1	2500.00	290	68075	27.23
	2	2500.00	290	72225	28.89
	3	2500.00	290	74150	29.66
	Rata - rata	2500.00	290	71483.33	28.59
5%	1	2500.00	300.1	99750	39.9
	2	2500.00	301.6	103850	41.54
	3	2500.00	304.85	107350	42.94
	Rata - rata	2500.00	302.18	103650.00	41.46
10%	1	2500.00	300.2	137800	55.12
	2	2500.00	304.05	121750	48.7
	3	2500.00	303.7	126925	50.77
	Rata - rata	2500.00	302.65	128825.00	51.53
15%	1	2500.00	295.75	125750	50.3
	2	2500.00	302.85	117600	47.04
	3	2500.00	298.65	122525	49.01
	Rata - rata	2500.00	299.08	121958.33	48.78
20%	1	2500.00	288.00	106100	42.44
	2	2500.00	283.85	86625	34.65
	3	2500.00	283.60	109575	43.83
	Rata - rata	2500.00	285.15	100766.67	40.31

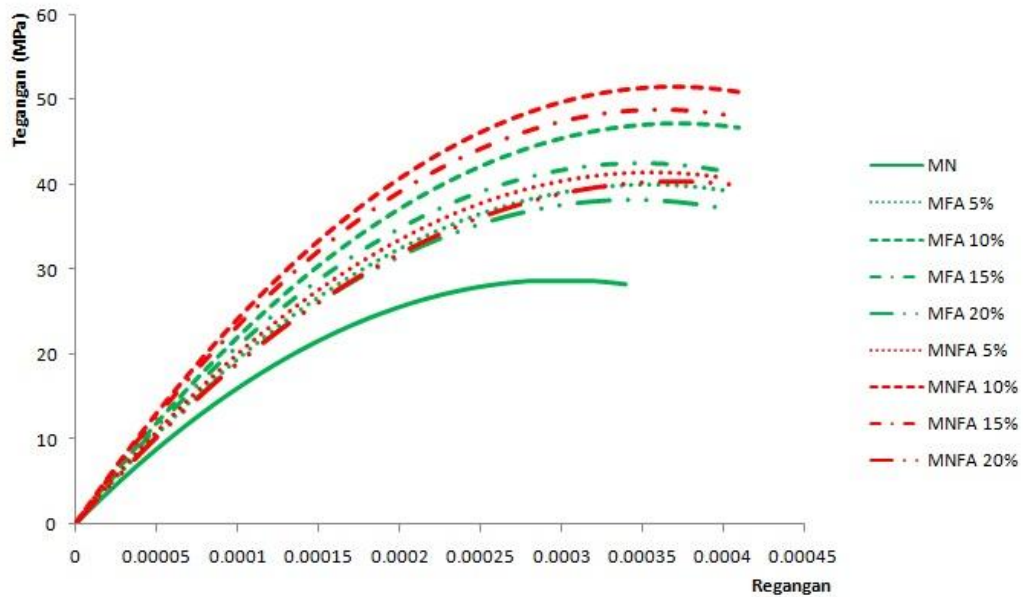
Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa penambahan kadar *Fly Ash* tidak meningkatkan nilai kuat tekan secara linier. Pada kadar 15%, terjadi penurunan nilai kuat tekan, sehingga nilai kadar *Fly Ash/Nano Fly Ash* optimum (nilai A dan B pada gambar 6) dapat dicari dengan pendekatan *polynomial* dan dapat dilihat pada gambar 6.

Dari mesin UTM, didapat output berupa beban maksimum dan pertambahan panjang (P - ΔL). Output berupa P - ΔL ini kemudian dikonversi menjadi grafik regangan – tegangan yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 6. Kadar *Fly Ash/Nano Fly Ash* Optimum

*) Dosen Teknik Sipil Universitas Diponegoro



Gambar 7. Grafik Regangan – Tegangan MFA/MNFA

Dengan melihat grafik pada gambar 6 dan 7, dapat dilihat bahwa benda uji mengalami nilai tegangan maksimum pada penambahan *fly ash/nano fly ash* sebesar 10%, kemudian mengalami penurunan. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa hubungan antara penambahan kadar *fly ash/nano fly ash* tidak dapat dikatakan linier. Hal ini berkaitan dengan direduksinya jumlah semen seiring bertambahnya kadar *fly ash/nano fly ash*, maka kemampuan lekatan dari material pun berkurang, sehingga mengurangi kekuatan dari mortar.

4.3. Analisa Intensitas Kenaikan Kuat Tekan

Analisa intensitas kuat tekan bertujuan untuk mendapatkan seberapa besar kenaikan nilai kuat tekan dari mortar biasa, terhadap mortar dengan penambahan *fly ash/nano fly ash*. Intensitas kenaikan kuat tekan dihitung dengan rumus :

$$I = \frac{\text{Nilai Kuat Tekan 2} - \text{Nilai Kuat Tekan 1}}{\text{Nilai Kuat Tekan 1}} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai intensitas kuat tekan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Intensitas Kenaikan Kuat Tekan

	Nilai Kuat Tekan Maksimum	Intensitas terhadap Mortar Normal
Mortar Normal	28.59	-
MFA	47.2	165%
MNFA	51.53	180%

5. Simpulan dan Saran

Penggunaan material *nano fly ash* terhadap mortar, dapat meningkatkan nilai kuat tekan mortar. Intensitas dari penambahan nilai kuat tekan ini mencapai nilai 180 %. Namun penambahan nilai kuat tekan tidak memiliki fungsi linier terhadap penambahan proporsi *nano fly ash*, dapat dilihat pada tabel 5 bahwa terjadi penurunan nilai kuat tekan. Hal ini kemungkinan disebabkan direduksinya berat semen, seiring ditambahkan proporsi *nano fly ash* ke mortar, dimana material *nano fly ash* tidak memiliki kekuatan lekatan lebih kuat dari semen. Penelitian lebih lanjut dengan pengaplikasian teknologi nano untuk material yang lain mungkin dapat meningkatkan kuat tekan lebih besar.

6. Referensi

- 1) Adtre, 2008, "Dunia Nano ; Sejarah dan Definisi", www.forumsains.com, 14 Februari 2008, 1.
- 2) ASTM C 33/03, 2003, "Standard Specification for Concrete Aggregates", Annual Books of ASTM Standards, USA.
- 3) ASTM C 109/C109M-12. 2012. "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar". Annual Books of ASTM Standards, USA.
- 4) ASTM C188 – 09, 2009, "Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement", Annual Books of ASTM Standards, USA.
- 5) ASTM C496 / C496M – 11. 2011, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens", Annual Books of ASTM Standards, USA.
- 6) ASTM C618, 2012, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete", Annual Books of ASTM Standards, USA.
- 7) ASTM C1329-04, 2004, "Standard Specification for Mortar Cement", Annual Books of ASTM Standards, USA.
- 8) Astuti D. F. dan Novianto M. O.. 2011. "Pengaruh Perawatan Kuat Tekan dan Perilaku Tegangan-Regangan Mortar". Semarang : Universitas Diponegoro.
- 9) BS 882:1992, 1992, "Specification for Aggregates from Natural Sources for Concrete", British Standard Institution, UK.
- 10) Byung-Wan J., Chang-Hyun K., Jae-Hon L., 2007. "Characteristic of Cement Mortar with Nano SiO₂ Particles." ACI Materials Journal
- 11) Chu-Kia W. dan Salmon C.G., diterjemahkan oleh Hariandja B., 1993, Desain Beton Bertulang Jilid I, Jakarta : Erlangga.
- 12) Damtoft, 1999, "Concrete Binder, Mineral Addition and Chemical Admixture : State of the Art and Challenges for the 21st century. Proc. Extending Performance of Concrete Structure", Eds : R.K. Dhir and P.A.J. Tittle, Dundee, UK. Pp. 1-16
- 13) Donaldson K., Borm P. (Editor), 2006, *In Particle Toxicology Informa Healthcare*. 1st edition. 2006, 456.
- 14) Hardjasaputra H., 2009. "Mungkinkah Beton Sekuat Baja?". www.harianto.wordpress.com. 25 Februari 2009. 1.

- 15) Hardjasaputra, H., Tirtawijaya J., Tandaju G. S., 2011. "The Recent Development of Ultra High Performance Concrete (UHPC) in Indonesia." Jakarta : Universitas Pelita Harapan.
- 16) Majuar, 2004, "*Mechanical Properties of High Strength Concrete Containing Rice Husk Ash*", Jurnal Bissotek, Vol.3 pp.45-50, Politeknik Negeri Lhokseumawe
- 17) Mehta, P. K. dan Paulo J M Monteiro.2006. *Concrete, Microstructure, Properties, and Material*. California : The McGraw-Hill Companies.
- 18) Mehta, P. K. & Pitt, N., 1978, "*Energy and Industrial Materials from Crop Residues, in Resource Recovery & Construction*", 2, Elsevier Scientific Publishing Company pp. 23-38
- 19) Memeon, 2002, "*Effect of Mineral and Chemical and Mixtures on High Strength Concrete in Seawater*", Cement and Concrete Research, Vol.32, pp. 373-37
- 20) Mulyono, T., 2004, *Teknologi Beton*, Andi: Yogyakarta.
- 21) Musbar, Rizal F, Mahyar H., 2010. "Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Campuran Beton Agropolymer." Jurnal Portal, ISSN 2085-7454, Volume 2.
- 22) Nanoforum.org., 2008, "Benefits, Risks, Ethical, Legal, and Social Aspects of NANOTECHNOLOGY Part 3 : Potential Risks of Nanotechnology", 4th Nanoforum Report, Oktober 2005, European Nanotechnology Gateway.
- 23) Oberdörster G., 2002, *Toxicokinetics and effects of fibrous and nonfibrous particles*. Inhalation toxicology.
- 24) Paya, 2001, "*Determination of Amorphous Silica in Rice Husk ash by Rapid Analytical Method*", Cemen and concrete research, Vol.31. pp 227-231
- 25) PBI 1971, 1971. "Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971". Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik Bandung
- 26) [Qijun Yu](#), [Sawayama K](#), [Sugita S](#), [Shoya M](#), [Isojima Y](#), 1999, "*The Reaction Between Rice Husk Ash and Ca(OH)₂ Solution and the Nature of Its product*", Cement and Concrete Research.
- 27) Rajput, R.K., 2000, *Engineering Materials*, S.Chand & Co. Ltd., New Delhi, 2000. Reference Books 1.
- 28) Sidney M. J., Young F., Darwin D., 2003. *Concrete*. Nevada: Pearson Education.
- 29) SK SNI S-04-1989-F, 1989, "Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A", Badan Standardisasi Nasional, Indonesia.
- 30) SK SNI T-15-1991-03, 1991, "Tata Cara Perhitungan Struktur untuk Bangunan Gedung", Badan Standardisasi Nasional, Indonesia.
- 31) SNI 03-1750-1990, 1990, "Agregat Beton, Mutu, dan Cara Uji", Badan Standardisasi Nasional, Indonesia.
- 32) SNI-03-6825-2002, 2002, "Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil", Badan Standardisasi Nasional, Indonesia.
- 33) SNI 03-6863-2002, 2002, "Metode Pengambilan Contoh dan Pengujian Abu Terbang atau Pozzolan Alam Sebagai Mineral Pencampur dalam Beton Semen Portland", Badan Standardisasi Nasional, Indonesia.
- 34) SNI 15-0302-2004, 2004, "Semen Portland Pozzolan", Badan Standardisasi Nasional, Indonesia.
- 35) SNI 15-2049-2004, 2004, "Semen Portlan", Badan Standardisasi Nasional, Indonesia

- 36) Sobolev K., Flores I., Hermosillo R., and Torres-Martínez L.M., 2008., "Nanomaterials and Nanotechnology for High Performance Cement Composites". ACI Material Journal
- 37) Sugita, S., 1992, "Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash, 4th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolan in Concrete", Istanbul, pp. 495-512
- 38) Utami N., 2012, "Upayan Pembuatan Superkonduktor Nano Partikel YBa_2CO_7 (YBCO 123) dengan Reduksi Geometri Menggunakan High Energy Milling (HEM)", ngestie-oetami.blogspot.com.
- 39) Wardani S. P. R., 2008. "Pemanfaatan Limbah Batubara (*Fly Ash*) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan". Pidato Pengukuhan Guru Besar, 6 Desember 2008, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- 40) Yu Q., 1999, "The Reaction Between Rice Husk Ash and $Ca(OH)_2$ Solution and the Nature of Its product", Cement and Concrete Research
- 41) Zhang Y. dan Faghri A, 1996, "Semi-analytical solution of thermal energy storage system with conjugate laminar forced convecti