

ANALISIS KELAYAKAN BOTTOM ASH SEBAGAI SUBSTITUSI MATERIAL ADITIF TRASS MELALUI UJI TIME SETTING SEMEN PCC PADA PT.X

Abdul Aziz, Singgih Saptadi

*Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,
Jl. Prof Soedarto, SH, Semarang, 50275, Indonesia*

Abstrak

Perkembangan industri di Indonesia berlangsung sangat cepat seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, tidak terkecuali pada industri manufaktur bahan bangunan seperti manufaktur semen. Secara umum material penyusun semen adalah clinker yang merupakan semen murni dengan komposisi yang terdiri dari Limestone (batu kapur), Clay (tanah liat), Silica sand (pasir silika), Laterite-Iron Ore (pasir besi). Selain clinker, bahan utama dari semen adalah Gypsum, selain itu terdapat bahan tambahan seperti Trass, Limestone tambahan, dan juga Bottom Ash. Penambahan material tambahan dapat berfungsi untuk mengurangi cost, hingga meningkatkan performa dari semen yang dihasilkan. Pada penelitian yang dilakukan, diberikan 10 perlakuan pada campuran semen tanpa pengulangan, dan didapatkan hasil bahwa semua jenis semen tidak berpengaruh secara signifikan dan dapat mengurangi biaya produksi hingga 1,44% untuk semen PCC – Industry dan 1,31% untuk semen PCC.

Kata Kunci: Semen, Trass, Bottom Ash, Uji time setting, Limbah Batubara

Abstract

The development of industry in Indonesia takes place very quickly along with the advancement of science and technology, including the manufacturing industry of building materials such as cement manufacturing. In general, the constituent material of cement is a clinker which is pure cement with a composition consisting of Limestone (limestone), Clay (clay), Silica sand (silica sand), Laterite-Iron Ore (iron sand). In addition to clinker, the main material of cement is Gypsum, in addition there are additional materials such as Trass, Limestone additional, and also Bottom Ash. The addition of additional materials can serve to reduce costs, to improve the performance of the resulting cement. In the study conducted, 10 treatments were given to cement mixtures without repetition, and it was found that all types of cement had no significant effect and could reduce production costs by 1.44% for PCC - Industry cement and 1.31% for PCC cement.

Keywords: Cement, Trass, Bottom Ash, Time setting test

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia berlangsung sangat pesat seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Berdirinya perusahaan dan tempat kerja yang bervariasi merupakan salah satu dampak dari perkembangan perindustrian. PT. X merupakan salah satu perusahaan manufaktur besar yang bergerak di bidang industri, dengan memproduksi dan memasarkan produk semen yang beroperasi dengan kapasitas 2,45 juta ton semen per tahun. Beberapa jenis produk yang ditawarkan oleh perseroan adalah *Portland Cement Composite* (PCC), *Ordinary Portland Cement* dan jenis produk semen lainnya.

Secara definisi semen merupakan bahan perekat atau lem yang bisa merekatkan bahan-bahan material

lain seperti batu bata dan batu koral hingga membentuk sebuah bangunan. dalam perindustrian, semen digunakan sebagai isolasi zona dan bahan perekat pembentukan selubung untuk meningkatkan produktivitas (Al Ramis et al., 2020). Semen memiliki berbagai macam jenis, namun jenis semen *portland* memiliki produksi tahunan yang cukup konstan di seluruh dunia sekitar 4100 juta ton (Abdel Rahman & Ojovan, 2021). Semen *Portland* biasanya digunakan untuk tujuan konstruksi umum di mana sifat khusus tidak diperlukan (Yuan et al., 2021). Proses pembuatan semen sendiri terdiri dari beberapa proses, dimulai dari penggilingan bahan baku yang terdiri dari bahan baku utama yaitu *Limestone* (batu kapur), *Clay* (tanah liat), *Silica sand* (pasir silika), dan *Laterite-iron ore* (pasir besi). Setelah digiling,

kemudian campuran material tersebut dibakar menggunakan Kiln (tanur) dengan temperatur sekitar 1.400°C hingga 1.600°C (Pierre et al., 2021). Hasil pembakaran inilah yang kemudian disebut dengan clinker (terak) atau biasa disebut dengan semen setengah jadi. Setelah menjadi clinker, campuran material kemudian diberikan dengan berbagai macam bahan aditif seperti gypsum, Limestone tambahan, yang dapat mempengaruhi aspek kualitas dan juga aspek ekonomis dari produksi semen (Richard Liew et al., 2021).

Secara umum semen memiliki beberapa tipe yaitu: portland cement, super masonry cement, Oil well cement, portland pozzolan cement, semen putih, portland composite cement, ordinary portland cement dan lain sebagainya (Iyer, 2020). Material yang digunakan untuk memproduksi produk semen terdiri dari bahan baku utama dan bahan pendukung. Bahan baku utama dan bahan pendukung dapat bersifat tak bisa diperbaharui, berasal dari proses daur ulang, dan bahkan terdapat material yang termasuk daur ulang limbah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (Limbah B3). Bahan baku pendukung yang umum digunakan adalah *fly ash/bottom ash, slag, silica fume, dan metakaolin* (Holland et al., 2016).

Dalam menentukan kualitas semen, terdapat 2 grup parameter yaitu parameter kimiawi dan fisik. Pada parameter kimiawi terdapat beberapa kandungan yaitu (Ghasemi et al., 2022) : 1). Oksida silika. 2). Oksida Kalsium, 3). Oksida Aluminium. 4). Oksida Ferrum. 5). Oksida Belerang 6). Oksida Magnesium. 7). Oksida Fosfor. Kemudian terdapat sifat kimia LOI (*Loss of ignition*) dan IR (*Insoluble residue*). LOI menyatakan bagian dari zat yang akan terbebaskan sebagai gas pada saat dibakar. Sedangkan IR merupakan zat pengotor yang tetap tinggal setelah semen direaksikan dengan asam dan basa (Goswami et al., 2021).

Sedangkan untuk parameter fisika yang dapat diteliti ada beberapa yaitu (Kemer et al., 2021): 1). Fineness (Kehalusan). 2). *Setting time, Setting time*

dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu factor sifat material dan konstruksi seperti komposisi kandungan material dan juga perlakuan bahan campuran (Guo et al., 2020). 3). Compressive Strength (kuat tekan) dan 4). Panas Hidrasi. Uji *time setting* merupakan uji yang menentukan kinerja fisik dan kemampuan konstruksi secara langsung serta dapat menentukan jadwal konstruksi (Guo et al., 2020). Menurut ASTM (American Standard Testing and Material), Uji *setting time* berfungsi untuk menentukan kesesuaian batas spesifikasi waktu pengikatan (ASTM International, 2002).

Dalam persediaannya, Pada PT.X, material diperoleh dengan 2 cara, yaitu membeli dari *supplier* ataupun melakukan penambangan mandiri. Untuk material seperti *Trass* dan *Gypsum*, perusahaan membeli dari *supplier* dalam pengadaannya. Untuk Limestone, Clay, Silica sand, dan Laterite iron-ore diperoleh dengan melakukan kegiatan penambangan mandiri. Sedangkan untuk material *Bottom Ash*, perusahaan mendapat material dari perusahaan lain yang menggunakan batubara sebagai pembakaran dan menghasilkan *Bottom Ash* sebagai limbah batubara yang terbakar.

Oleh karena itu penelitian ini akan dilakukan untuk menganalisis pengaruh substitusi Trass dengan *Bottom Ash* terhadap perubahan kualitas hasil uji *setting time* pada semen yang dilakukan di PT. X.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan 2 jenis semen PCC yang berbeda yang diproduksi dari PT.X. Penelitian dimulai dari pencampuran material yang telah ditentukan, material yang dicampurkan adalah material Clinker, Gypsum, Trass, *Bottom Ash*, dan Limestone. Masing-masing memiliki proporsi yang berbeda-beda sesuai dengan mix desain yang telah ditentukan. *Mix design* yang ditentukan tertera pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Mix design semen PCC-Industry

PCC – Industry	Blank	TA	TB	TC	TD
Clinker	71%	71%	71%	71%	71%
Limestone	12%	12%	12%	12%	12%
Trass	14%	5%	3%	1%	0%
Gypsum	3%	3%	3%	3%	3%
<i>Bottom Ash</i>	0%	9%	11%	13%	14%

Tabel 2. Mix design semen PCC

PCC	Blank	TA	TB	TC	TD
Clinker	60%	60%	60%	60%	60%
Limestone	25%	25%	25%	25%	25%
Trass	12%	6%	4%	2%	0%
Gypsum	3%	3%	3%	3%	3%
Bottom Ash	0%	6%	8%	10%	12%

Setelah material tercampur berikutnya melakukan penggilingan semen di mesin lab.mill yang ada pada laboratorium MPI yang ada di PT. X Penggilingan dilakukan selama \pm 60 menit bergantung dari kecocokan dengan target blaine (kehalusan) dan residu 45μ yang telah ditentukan. Setelah digiling langkah selanjutnya adalah melakukan pengecekan residu dan blaine. Apabila residu 45μ masih mencapai angka diatas 1,6gr maka dilakukan penggilingan kembali selama sekitar 10 menit. Begitu pun dengan angka blaine, apabila angka blaine belum menunjukkan angka di atas 4200 cm²/gram maka dapat dilakukan penggilingan kembali selama sekitar 10 menit.

Setelah blaine dan residu 45μ dirasa cukup, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk melihat proporsi kandungan kimia dan juga uji fisik dari sampel semen yang dibuat. Untuk uji kandungan kimia, kandungan yang diuji adalah SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, fCaO dan juga SO₃. Untuk sifat kimia yang diuji antara lain *Loss of ignition* (LOI) dan *Insoluble residue* (IR). Kandungan kimia diuji menggunakan XRD (X-Ray Diffraction), XRD dapat mengukur komposisi unsur pada suatu kandungan yang diteliti (Bergslien, 2022).

Sedangkan untuk pengujian fisik, yang diteliti antara lain compress strength, dan time *setting*. Untuk time *setting* terbagi menjadi 2 yaitu *initial setting* dan *final setting*. *Initial setting* adalah waktu pengerasan awal pasta semen sedangkan *final setting* adalah waktu pengerasan akhir pasta semen. Pengujian tim setting menggunakan alat bernama *vicat apparatus* dan penetapan hasil uji berdasarkan tembusan jarum

vicat ke dalam pasta semen 6 mm hingga 7 mm di atas dasar cetakan semen berdasarkan ASTM C191-08 (Xiang et al., 2021).

3. PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil data parameter LOI dan IR pada tabel 3.

Tabel 3 hasil Analisa sampel semen PCC

	PCC - Industry	Blank	Trial A	Trial B	Trial C	Trial D
Chemical Parameters	LOI	6.32	7.19	6.07	6.95	8.35
	IR	12.13	5.72	4.32	5.03	3.92
Physical Parameters	<i>Initial Setting</i>	112	115	116	120	129
	<i>Final Setting</i>	240	255	241	240	243

Pada eksperimen ini, dilakukan penelitian terhadap parameter kualitas semen dari parameter kimiawi maupun fisik dari sampel semen. Hasil penelitian ini diperoleh menggunakan 10 sampel yang mana sampel tersebut terdiri dari 5 sampel semen PCC – Industry dan 5 sampel semen PCC yang kemudian dilakukan pengujian melalui uji basah untuk mengetahui sifat kimia seperti *Loss of ignition* dan *Insoluble residue*, serta uji *setting time*.

Uji-uji yang dilakukan guna melihat kualitas dari percobaan sampel semen. Untuk standar parameter dari semen PCC yang diuji coba sesuai dengan SNI adalah sebagai berikut (Badan Standar Nasional Indonesia, 2014):

Tabel 4 Persyaratan Standar jenis Semen PCC (SNI)

Syarat Kimia		
No.	Kandungan	persyaratan
1	SO ₃	<40%

Tabel 4 Persyaratan Standar Jenis Semen PCC

syarat Fisika			
No.	uraian	satuan	persyaratan
1	kehalusan blaine	m ² /kg	>280
2	kekekalan bentuk dengan autoclave:		
	1. pemuaian	%	< 0.8
	2. penyusutan	%	< 0.2
3	waktu pengikatan dengan alat vikat:		
	1. Pengikatan awal	menit	> 45
	2. pengikatan akhir	menit	< 375
4	kuat tekan:		
	3 hari	kg/cm ²	> 130
	7 hari	kg/cm ²	> 200
	28 hari	kg/cm ²	> 280
5	pengikatan semu: penetrasi akhir	%	> 50
6	kandungan udara dalam mortar	% volume	≤ 12

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap sampel, didapatkan hasil Uji *setting time* pada setiap sampel percobaan. Pada sampel semen PCC – Industry diperoleh hasil analisis *initial setting* (pengikatan awal) pada masing-masing sampel dari sampel Blank – Trial D adalah 112; 115; 116; 120; dan 129. Pada sampel semen PCC diperoleh hasil analisis *initial setting* pada masing-masing sampel dari sampel blank – trial D adalah 120; 115; 110; 110; dan 129. Persyaratan lulus uji standar *initial setting* yang disyaratkan untuk semen PCC dari SNI 7064:2016 adalah ≥ 45 menit dan semua hasil pengujian sampel semen berada pada angka yang disyaratkan sehingga dapat dinyatakan bahwa seluruh sampel uji coba memenuhi standar SNI 7064:2016 pada pengikatan awal.

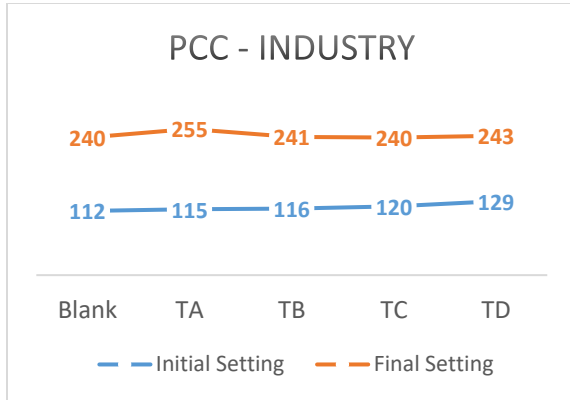
Pada penetapan pengikatan akhir (*final setting*) hasil yang diperoleh untuk analisis sampel semen PCC – Industry untuk sampel Blank – Trial D adalah 240; 255; 241; 240; dan 243. Pada sampel semen PCC untuk sampel Blank – Trial D diperoleh hasil *final setting* (pengikatan akhir) adalah 252; 239; 225; 220; dan 209. Berdasarkan parameter standar dari SNI 7064:2016, pengikatan akhir standar adalah tidak lebih dari 375 menit dan semua hasil pengujian sampel semen berada pada angka yang disyaratkan

sehingga semua sampel percobaan semen dapat dikatakan memenuhi standar SNI 7064:2016 pada pengikatan akhir. Adapun grafik *time setting* dari hasil substitusi trass dan *Bottom Ash* pada percobaan sampel semen PCC di sajikan pada gambar 2 dan gambar 3

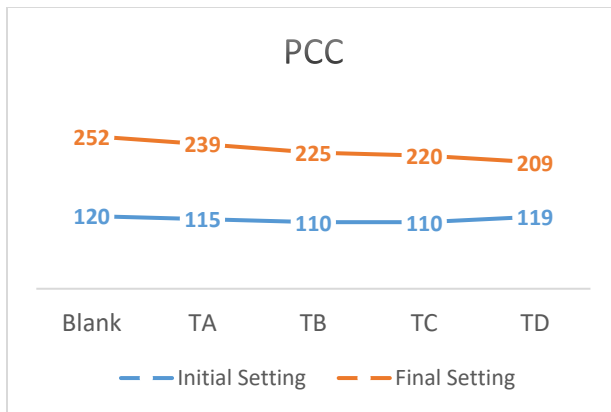
Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa untuk waktu pengikatan awal untuk sampel PCC – Industry Blank adalah 112 dan pengikatan akhirnya adalah 240, untuk sampel Trial A waktu yang dibutuhkan untuk pengikatan awal adalah 115 menit dan pengikatan akhir 255 menit, untuk sampel Trial B pengikatan awal sebesar 116 menit dan pengikatan akhir sebesar 241 menit, untuk sampel Trial C pengikatan awal sebesar 120 menit dan pengikatan akhir yang 240, untuk sampel Trial D pengikatan awal membutuhkan waktu 129 menit dan pengikatan akhir membutuhkan 243 menit.

Dari Gambar 1 dapat dilihat untuk *initial setting* dari sampel PCC - Industry sampel Blank hingga Trial D cenderung meningkat secara tidak signifikan namun untuk *final setting* terlihat grafik cenderung konstan. Hal ini dapat menunjukkan bahwa pada sampel semen PCC – Industry, pengaruh substitusi Trass dan *Bottom Ash* tidak memberikan perubahan yang signifikan pada setiap penambahannya.

Dari Gambar 2 dapat dilihat untuk sampel semen PCC, waktu pengikatan awal sampel blank adalah 120 dan pengikatan akhirnya adalah 252, untuk sampel Trial A waktu yang dibutuhkan untuk pengikatan awal adalah 115 menit dan pengikatan akhir 239 menit, untuk sampel Trial B pengikatan awal sebesar 110 menit dan pengikatan akhir sebesar 225 menit, untuk sampel Trial C pengikatan awal sebesar 110 menit dan pengikatan akhir yang 220, untuk sampel Trial D pengikatan awal membutuhkan waktu 119 menit dan pengikatan akhir membutuhkan 209 menit.



Gambar 1. Grafik hasil uji *time setting* PCC-Industry



Gambar 2. Grafik hasil uji *time setting* PCC

Dari gambar 3 dapat dilihat untuk *initial setting* dari sampel PCC sampel Blank hingga Trial D tidak menunjukkan pola perubahan yang signifikan namun untuk *final setting* terlihat grafik cenderung turun dan menunjukkan waktu pengikatan akhir sampel menjadi semakin cepat seiring dengan banyaknya penambahan komposisi *Bottom Ash* dan pengurangan Trass. Hal ini dapat menunjukkan bahwa pada sampel semen PCC, pengaruh substitusi Trass dan *Bottom Ash* tidak memberikan perubahan

yang signifikan dan konstan pada setiap penambahannya.

Pada *Initial setting*, standar pengeringan adalah sekitar lebih daripada 45 menit namun juga tidak dianjurkan untuk terlalu lama sehingga dari sampel semen PCC maupun sampel semen PCC – Industry angka *initial setting* yang mendekati dari waktu standar adalah sampel Blank untuk PCC – Industry selama 112 menit dan untuk sampel PCC adalah sampel TB dan TC dengan waktu *initial setting* selama 110 menit.

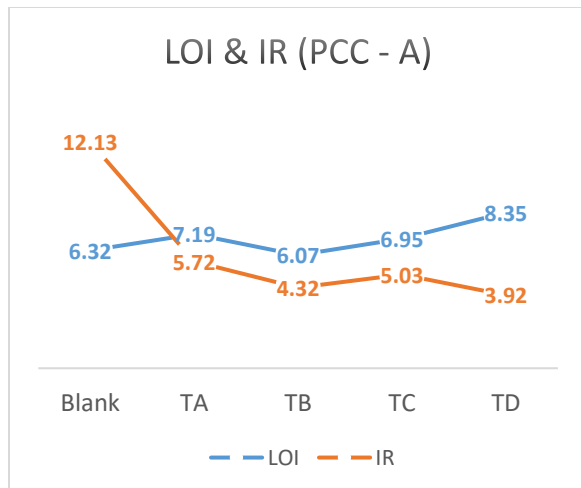
Pada *Final setting*, standar pengeringan adalah sekitar kurang daripada 375 menit namun juga tidak dianjurkan untuk terlalu sebentar sehingga dari sampel semen PCC maupun sampel semen PCC – Industry angka *final setting* yang mendekati dari waktu standar adalah sampel Trial A untuk PCC – Industry selama 225 menit diikuti sampel Trial D 243 menit, kemudian Trial B 241 menit, dan Blank dan Trial C sebesar 240 menit. Sedangkan untuk sampel PCC adalah sampel Blank dengan waktu *final* sebesar 252 menit, diikuti sampel Trial A dengan waktu *final setting* selama 239 menit kemudian sampel Trial B sebesar 225 menit, kemudian sampel Trial C 220 menit dan sampel Trial D 209 menit.

Berdasarkan sifat dan pengaruhnya dalam campuran semen, kandungan SO₃ yang semakin rendah dapat menghasilkan kekuatan awal yang baik, mengurangi penyusutan, dan juga meningkatkan kekuatan. Kandungan SO₃ paling sedikit pada sampel semen PCC – Industri dan semen PCC terdapat pada sampel blank dimana tidak adanya *Bottom Ash* menghasilkan kadar SO₃ yang optimal atau paling sedikit. Selain itu dalam penetapan standar, kandungan SO₃ yang maksimum adalah sebesar 40% dari total kandungan sehingga semua sampel semen PCC telah memenuhi standar kandungan SO₃.

Tabel 5 Perbandingan SO₃

		Blank	TA	TB	TC	TD
PCC	SO ₃	2.16	2.8	2.67	2.8	3.01
PCC	SO ₃	2.06	2.88	2.97	2.89	3.04
- A						

Untuk perbandingan hasil parameter *loss of ignition* dan *Insoluble residue* terdapat pada grafik pada gambar 4.



Gambar 3 Parameter LOI dan IR

Untuk grafik *Insoluble residue* terlihat pada sampel semen PCC mengalami kecenderungan penurunan seiring dengan banyaknya volume Trass yang disubstitusi dengan material *Bottom Ash* dengan angka nilai paling rendah sebesar 2.7 pada sampel trial D. Sedangkan untuk jumlah *Insoluble residue* dari grafik menunjukkan pola yang cenderung konstan dengan angka nilai paling rendah sebesar 10.58 pada sampel Trial A.

Penelitian ini berfokus pada penekanan biaya material Trass, pada sampel penelitian semen PCC – industri dan semen PCC, sebelum dilakukan penelitian untuk sampel semen PCC – industri, kandungan Trass adalah sebesar 14% dari total komposisi semen, sedangkan pada sampel semen PCC adalah sebesar 12%. Harga 1 gram material Trass adalah sebesar Rp 0.18,-. Sehingga pada sampel semen PCC – Industri dengan berat total 2kg dengan nilai sebesar Rp 2.800,-, kandungan trass adalah sebesar 280gr dengan biaya material trass sebesar Rp 51.29,-. Sedangkan untuk sampel semen PCC kandungan Trass dalam 2kg sampel adalah sebesar 240 gram dengan nilai sebesar Rp 43.96,-. Setelah dilakukan eksperimen, didapatkan hasil substitusi sampel semen dengan hasil parameter terbaik yaitu untuk sampel semen PCC – Industri Trial B dengan kandungan trass sebesar 3% dengan nilai Rp 10.99,-, dan sampel semen PCC yaitu Trial C dengan kandungan Trass sebesar 2% dengan nilai Rp 7.33,-.

Dari hasil penelitian pada sampel PCC – Industri terdapat penghematan biaya sebesar Rp 40.3,-, sedangkan pada sampel semen PCC adalah sebesar Rp 36.63,-. Pada hasil selisih harga, maka dapat dihitung bahwa pada sampel semen PCC – Industri terdapat penghematan biaya material sebesar 1.44% dan pada sampel semen PCC terdapat penghematan biaya sebesar 1.31%.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan didapat hasil bahwa substitusi material trass dan *Bottom Ash* tidak berpengaruh signifikan dan memenuhi standar SNI 7064:2014. Semen PCC – Industri dan semen PCC yang telah diteliti, berdasarkan parameter, sampel terbaik pada sampel semen PCC – Industri adalah sampel Trial B yang menghasilkan parameter IR & LOI yang rendah yaitu 4,32 dan 6,07. Lalu pada penilaian parameter *Setting* time dan kadar SO₃ menghasilkan angka yang berada di dalam standar yaitu *initial* set sebesar 116 menit dan *final* set sebesar 241 menit, serta kandungan SO₃ sebesar 2,67. Sedangkan pada sampel semen PCC, sampel yang terbaik adalah sampel Trial C yang memiliki angka IR & LOI yang cukup rendah sebesar 4,61 dan 11,67. Lalu pada penilaian parameter *Setting* time dan kadar SO₃ menghasilkan angka yang berada pada nilai standar yaitu *initial* set sebesar 110 menit dan *final* set sebesar 220 menit, serta kandungan SO₃ sebesar 2,8.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdel Rahman, R. O., & Ojovan, M. I. (2021). Life cycle of nuclear cementitious structures, systems, and components. *Sustainability of Life Cycle Management for Nuclear Cementation-Based Technologies*, 89–121. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818328-1.00012-5>
- Al Ramis, H., Teodoriu, C., Bello, O., & Al Marhoon, Z. (2020). High definition optical method for evaluation of casing - Cement microannulus (CCMA). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 195(July), 107719. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107719>
- ASTM International. (2002). *Annual book of ASTM Standards*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2014). *SNI 7064:2014 Semen Portland Komposit*.
- Bergslien, E. T. (2022). X-ray diffraction (XRD) evaluation of questioned cremains. *Forensic Science International*, 332, 111171. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111171>
- Ghasemi, A., Amiri, S. S., Mirvalad, S., & Korayem, A. H. (2022). Evaluation of the phase composition , microstructure , mechanical performance , and resistance to acid attack of blended cement paste composed of binary trass-cement system. *Construction and Building Materials*, 333(April), 127356. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127356>

- Goswami, S., Shukla, D. K., & Singh, P. K. (2021). Sustainable transformation of sewage sludge ash and waste industrial additive into green cement blend. *Structural Concrete, February*, 1–15. <https://doi.org/10.1002/suco.202100120>
- Guo, J., Wang, L., Fan, K., & Yang, B. (2020). An efficient model for predicting setting time of cement based on broad learning system. *Applied Soft Computing, 96*, 106698. <https://doi.org/10.1016/J.ASOC.2020.106698>
- Holland, R. B., Kurtis, K. E., & Kahn, L. F. (2016). Effect of different concrete materials on the corrosion of the embedded reinforcing steel. *Corrosion of Steel in Concrete Structures*, 131–147. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-381-2.00007-9>
- Iyer, N. R. (2020). An overview of cementitious construction materials. In *New Materials in Civil Engineering*. INC. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818961-0.00001-6>
- Kemer, H., Bouras, R., Mesboua, N., Sonebi, M., & Kinnane, O. (2021). Shear-thickening behavior of sustainable cement paste — Controlling physical parameters of new sources of supplementary cementitious materials. *Construction and Building Materials, 310*, 125277. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.125277>
- Pierre, K. M. ., Alexis, N. ., Christophe, K. ., & Paul, C. . (2021). Chemical Analysis of the Parameters Determining the Quality of a Case of Cement from Cement Sold on the Mbuji-Mayi Markets. *Open Access Library Journal, 8*. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106966>
- Richard Liew, J. Y., Xiong, M.-X., & Lai, B.-L. (2021). Special considerations for high strength materials. *Design of Steel-Concrete Composite Structures Using High-Strength Materials*, 125–142. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823396-2.00011-3>
- Xiang, T., Liu, J., Lv, Z., Wei, F., Liu, Q., Zhang, Y., Ren, H., Zhou, S., & Chen, D. (2021). The effect of silicon-based waterproof agent on the wettability of superhydrophobic concrete and enhanced corrosion resistance. *Construction and Building Materials, 313* (September), 125482. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125482>
- Yuan, Q., Liu, Z., Zheng, K., & Ma, C. (2021). Inorganic cementing materials. *Civil Engineering Materials*, 17–57. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822865-4.00002-7>