

Optimasi *Clinker Ratio* Pada *Portland Pozzoland Cement (PPC)* Dengan *Pozzoland Fly ash*

Herliati, Dyah Puspita Asyha, Lukman Nulhakim*

Teknik Kimia Universitas Jayabaya, Jalan Raya Bogor km 28,8 Cimanggis Jakarta Timur

Email : lukman.nh.st@gmail.com

Diterima (Tanggal Bulan Tahun), Direvisi (Tanggal Bulan Tahun)

Abstract. *Portland Pozzolana Cement (PPC)* is a hydraulic cement consisting of a homogeneous mixture of portland cement and fine pozzolana. This cement produced by grinding clinker, limestone, gypsum, fly ash so that the particles have an absolute fineness. This study aims to determine the effect of clinker substitution by fly ash on the chemical and physical properties of cement. Chemically, the content of MgO and SO₃ affected the quality of the cement analyzed using X-Ray Fluorescence (XRF). Besides, testing also carried out on the binding time and compressive strength of the mortar. The method used to test the physical properties of cement is conducted based on the standards of ASTM C270 and SNI 0302-2014. The composition of fly ash added to the mixture varies from 6% to 40% by weight. The duration of bonding and compressive strength determined at the age of 1, 3, 7, and 28 days of mortar. The analysis results obtained the optimum value in the PPC-8 sample, where the composition of fly ash was 40%. At this optimum composition, the compressive strength is 423 kg/cm², cement fineness is 3760 cm²/g, the initial setting time is 155 minutes, and the final setting time is 215 minutes.

Keywords: *compressive strength, fly ash, portland pozzolana cement*

Abstrak. Portland Pozzoland Cement (PPC) adalah semen hidrolis yang terdiri dari campuran homogen antara semen portland dan pozzoland halus. Semen ini dihasilkan dengan cara menggiling *clinker*, limestone, gypsum, *fly ash* secara bersama-sama sehingga partikel memiliki kehalusan tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi klinker oleh *fly ash* terhadap sifat kimia dan fisika semen. Secara kimia, kandungan MgO dan SO₃ berpengaruh pada kualitas semen dianalisis menggunakan X-RayFluorescence (XRF). Selain itu juga dilakukan pengujian terhadap lama waktu pengikatan dan kuat tekan mortar. Metode yang dilakukan untuk pengujian sifat fisika semen dilakukan sesuai dengan standar ASTM C270 dan SNI 0302-2014. Komposisi *fly ash* yang ditambahkan ke dalam campuran bervariasi dalam kisaran 6% sampai dengan 40% berat. Lama waktu pengikatan dan kuat tekan ditentukan pada umur mortar 1, 3, 7, dan 28 hari. Hasil analisis memperoleh nilai optimum pada sampel PPC-8 dimana komposisi *fly ash* 40%. Pada komposisi optimum ini diperoleh kuat tekan sebesar 423 kg/cm², kehalusan semen 3760 cm²/gr, waktu pengikatan awal 155 menit dan waktu pengikatan akhir 215 menit.

Kata kunci: abu terbang, kuat tekan, portland pozzoland cement.

PENDAHULUAN

Semen merupakan salah satu bahan dasar utama untuk konstruksi bangunan, sehingga semen menjadi salah satu komoditi yang strategis. Saat ini total kapasitas produksi semen nasional mencapai 68,7 juta ton dengan kemampuan produksi 59,9 juta ton. Pada 2018, jumlah ekspor semen asal Indonesia hanya 220.000 ton sementara impor sebanyak 2,4 juta ton. Total kebutuhan semen nasional diperkirakan mencapai 62,4 juta ton [1].

PPC atau Portland Pozzolana Cement adalah campuran semen Portland dan bahan-bahan yang bersifat *pozzolan*. Bahan *pozzolan* adalah bahan yang mengandung silica dan alumina yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen. Komposisi bahan baku semen PPC adalah *clinker*, limestone, gypsum, dan *pozzolan*. Penggunaan bahan *pozzolan* dalam produk *Portland Pozzolana Cement* memberikan banyak keuntungan, baik bagi perusahaan maupun bagi lingkungan [2]. Material *pozzolan* dapat berupa *pozzolan* alam yaitu material yang berasal dari hasil pelapukan abu vulkanik yakni berupa erupsi gunung berapi sedangkan *pozzolan* buatan yaitu material yang berasal dari sisa buangan industri dari material batu bara atau produk sisa pabrikasi bahan pertanian. Material *pozzolan* ini mengandung unsur silica dan aluminat yang reaktif. Dalam keadaan halus (lolos saringan 0,21 mm) jika ditambahkan pada campuran semen akan bersifat seperti semen melalui proses hidraulik atau aktifitas *pozzolanik* atau keduanya [3].

Bagi perusahaan, penggunaan bahan *pozzolan* memberikan mafaat yaitu dapat mengurangi kebutuhan *clinker* dalam pembuatan produk semen sehingga biaya produksi dapat direduksi. Selain itu, emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran *clinker* dapat dikurangi. Bahan *pozzolan* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash*. Senyawa ini atau dikenal dengan abu terbang adalah produk hasil sisa pembakaran batubara, berupa butiran halus ringan, bundar, tidak porous serta bersifat *pozzolanic*. Sisa hasil pembakaran dengan batubara menghasilkan *fly ash* dan bottom ash (5%-10%). Pembakaran batubara akan menghasilkan abu, gas-gas oksida belerang (SO_x), oksida nitrogen (NO_x), gas hidrokarbon, karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) [4]. Komposisi *fly ash* dan *clinker* yang tepat akan menghasilkan kualitas Portland Pozzoland Cement yang optimal [5]. Peneliti yang lain melaporkan bahwa penambahan material *pozzolan* alam pada campuran semen atau beton menunjukkan adanya peningkatan pada kinerja campuran [3].

Bagi Perusahaan P.T. Indocement Tunggal Prakasa Tbk., substitusi *clinker* dengan sebagian *fly ash* dimaksudkan mengurangi kebutuhan bahan baku sehingga meningkatkan efisiensi biaya produksi. Namun hal yang penting adalah dengan tetap menjaga kualitas produk *Portland Pozzoland Cement* yang dihasilkan [6]. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh penambahan *fly ash* sebagai pengganti *clinker* pada kualitas produk semen PPC di PT. Indocement Tunggal Prakasa Tbk. Kualitas semen yang

dihasilkan diukur dengan melakukan pengujian kuat tekan dan *setting time* pada waktu 1,3,7 dan 28 hari. Komposisi *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah berkisar antara 6%-40% (w/w) dari total material.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

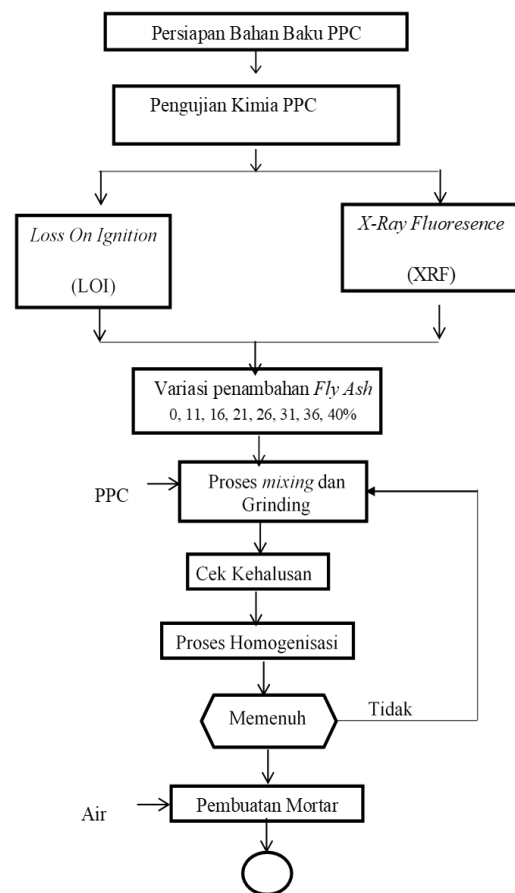
Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari *crusher*, ayakan, timbangan skala 10 kg, ACME Blaine Machine, mixer, pisau perata, Vicat, gelas ukur, kertas saring, *grinding machine Herzog*. Sementara bahan baku yang digunakan adalah *Clinker*, *Limestone*, Gypsum, Trass, Pasir, Air, Etylen Glycol (CH₂OH)₂, Larutan 0,25 N HCl, Indikator PP 1%. Pengujian lama waktu pengikatan dilakukan dengan alat vicat secara manual dan otomatis. Sedangkan pengujian kuat tekan mortar semen hidrolis dilakukan dengan menggunakan cetakan kubus berukuran sisi 50 mm.

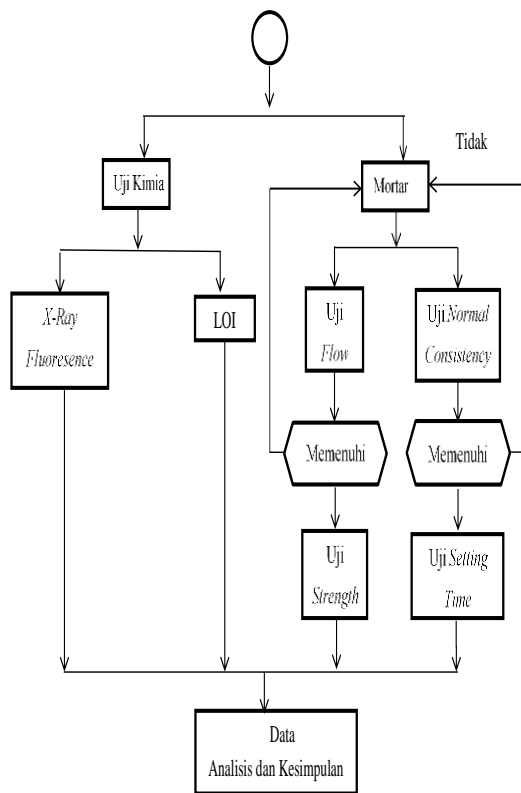
Prosedur Penelitian

Persiapan Benda Uji

PPC disiapkan dengan cara menggiling campuran *clinker*, *limestone*, *gypsum*, *fly ash* pada komposisi tertentu. Kemudian sebanyak 450 gram PPC tersebut dimasukkan ke dalam *mixer* dicampur dengan 2750 gram pasir dan air. Volume air yang ditambahkan diukur dengan alat *flow table* hingga terbaca 110±5. Proses pencampuran dilakukan pada kecepatan rendah yaitu 110 ± 5 putaran per menit selama 30 detik sehingga dihasilkan mortar yang siap dicetak. Hasil cetakan mortar yang

telah mengeras kemudian direndam di dalam air kapur untuk kemudian disimpan di dalam ruang lembab selama 20-24 jam. Pada saat penyimpanan permukaan atas mortar dibiarkan kontak dengan udara tetapi harus dihindarkan dari tetesan air. Diagram penelitian seperti pada Gambar 1.





Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pengujian Kimia Semen

Pengujian kimia dilakukan baik terhadap bahan baku PPC maupun terhadap mortar. Analisis kimia kuantitatif untuk menentukan *Loss on Ignition (LOI)* dilakukan sesuai dengan ASTM C114 [7]. Analisa kandungan MgO dan SO₃ dalam semen secara kuantitatif menggunakan XRF (*X-ray fluorescence spectrometry*) [8]. Metode ini merupakan salah satu cara analisis non-destruktif yang digunakan dalam mengidentifikasi serta menentukan konsentrasi elemen yang terdapat dalam padatan. XRF yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *Energy-dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF)*.

Pengujian Setting Time

Benda uji yang dibiarkan dalam ruang lembab selama 30 menit setelah pencetakan, kemudian lakukan penetrasi dengan jarum berdiameter 1 mm dan penetrasi diulang setiap 15 menit berikutnya [9]. Jarak antara titik penetrasi terhadap dinding bagian dalam cetakan tidak kurang dari 9,5 mm sementara jarak diantara titik penetrasi satu dengan lainnya tidak kurang dari 6,4 mm. Data hasil pengujian dibuat interpolasi guna menentukan waktu pengingkatan awal pada penetrasi 25 mm.

Pengujian Kuat Tekan

Benda uji mortar yang telah disiapkan dibiarkan pada cetakan dan disimpan dalam ruang lembab selama 1 hari. Setelah mengeras, sampel uji lalu direndam dalam air yang mengandung kapur sampai pengujian dilakukan. Metoda uji kuat tekan mortar semen dilakukan dengan menggunakan cetakan kubus berukuran sisi 50 mm [10]. Hasil yang ingin diperoleh adalah untuk mengetahui apakah semen telah memenuhi standar atau belum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Komposisi PPC

Pada penelitian ini digunakan 8 sample dengan variasi jumlah *fly ash* yang ditambahkan dalam campuran antara 6 – 40 % (w/w). Pada penelitian ini komposisi *limestone* dan gypsum dibuat tetap sedangkan komposisi *clinker* dan *fly ash* bervariasi pada jumlah total dibuat tetap

yaitu 92 %. Data desain komposisi *fly ash* dalam campuran PPC adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2 memperlihatkan data hasil analisis pengujian kimia.

Tabel 1. Data Desain Komposisi PPC

Kode	Komposisi Material (%)				Total (%)
	Clinker	Limes tone	Fly ash	Gypsum	
PPC-A	86	5	6	3	100
PPC-B	81	5	11	3	100
PPC-C	76	5	16	3	100
PPC-D	71	5	21	3	100
PPC-E	66	5	26	3	100
PPC-F	61	5	31	3	100
PPC-G	56	5	36	3	100
PPC-H	52	5	40	3	100

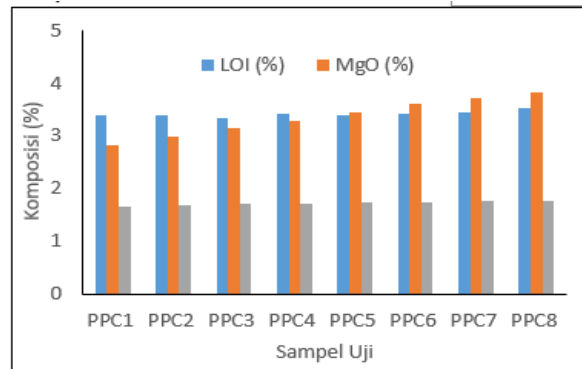
Pengujian Kimia

Pengujian unsur-unsur oksida dari material penyusun semen yaitu MgO dan SO₃ dilakukan menggunakan XRF tipe *Energy-dispersive X-ray Fluorescence* (EDXRF) [11]. Metode Uji Standar untuk *Loss on Ignition* (LOI) Padatan berdasarkan pada ASTM C114 [12]. LOI diperoleh dengan cara memanaskan sampel bahan pada suhu tinggi dalam oven yaitu 900 sampai 1000°C selama 15 menit untuk memberikan kesempatan zat-zat yang mudah menguap keluar, hingga massanya stabil. Selain itu, kadar MgO dan SO₃ dalam semen adalah maksimum 6.0% dan 4.0 % berturut-turut. Keberadaan senyawa-senyawa ini dalam semen harus dibatasi karena dapat menyebabkan kualitas semen menurun. Selain itu juga agar tidak memberikan efek jangka panjang dimana semen mengalami pemuaihan sehingga berpengaruh pada konstruksi bangunan.

Tabel 2. Data Analisis Pengujian Kimia

Sampel	LOI (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
Standar	Maks 5	Maks 6	Maks 4
PPC-A (FA 6%)	3.38	2.83	1.65
PPC-B (FA 11%)	3.38	2.97	1.68
PPC-C (FA 16%)	3.34	3.14	1.71
PPC-D (FA 21%)	3.40	3.28	1.72
PPC-E (FA 26%)	3.38	3.44	1.73
PPC-F (FA 31%)	3.42	3.59	1.74
PPC-G (FA 36%)	3.44	3.70	1.75
PPC-H (FA 40%)	3.53	3.83	1.76

FA = *Fly ash*



Gambar 2. Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kandungan Kimia PPC

Tabel 2 dan Gambar 2 menyajikan bahwa hasil pengujian kandungan kimia semua sampel PPC dan LOI memenuhi standar SNI 0302-2014 dimana nilai kandungan yang ditetapkan yaitu MgO maksimal 6%, SO₃ maksimal 4% dan LOI maksimal 5%. Gambar 2 menunjukkan kecenderungan MgO dan SO₃ yang meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan *fly ash* dengan kandungan kimia tersebut [13]. Hal ini dimungkinkan karena *fly ash* yang ditambahkan memiliki kandungan oksida tersebut [14].

Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan adalah sifat kemampuan menahan suatu beban tekan. Kuat tekan merupakan sifat yang penting dalam menentukan kualitas semen [15]. Pada penelitian ini, kuat tekan diukur pada saat umur mortar 1 hari, 3 hari, 7 hari dan 28 hari.

Dari data yang disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa penambahan *fly ash* berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan dengan bertambahnya umur mortar. Namun demikian pada umur mortar yang sama peningkatan kuat tekan hanya terjadi pada PPC-A sampai PPC-D kemudian mengalami penurunan pada PPC-E sampai PPC-H. Hal ini disebabkan karena komposisi *fly ash* semakin meningkat sehingga secara kimiawi kandungan MgO dan SO₃ juga meningkat. Sebagaimana diketahui bahwa senyawa-senyawa ini memberikan efek menurunkan kuat tekan semen [15].

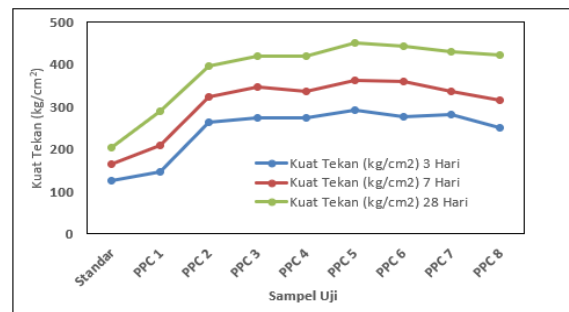
Tabel 3. Data Analisis Pengujian Fisika (*Setting Time*)

Sample	Setting Time (min)		Kuat Tekan (kg/cm ²)		
	Initial	Final	3 Hari	7 Hari	28 Hari
Standar SNI	Min. 45	Maks. 420	Min. 125	Min. 165	Min. 205
BLANKO	110	170	147	210	290
PPC-A	115	175	264	324	397
PPC-B	120	180	275	347	419
PPC-C	125	185	274	337	421
PPC-D	130	190	293	362	452
PPC-E	135	195	276	359	443
PPC-F	140	200	282	336	431
PPC-G	155	215	250	315	423
PPC-H	110	170	147	210	290

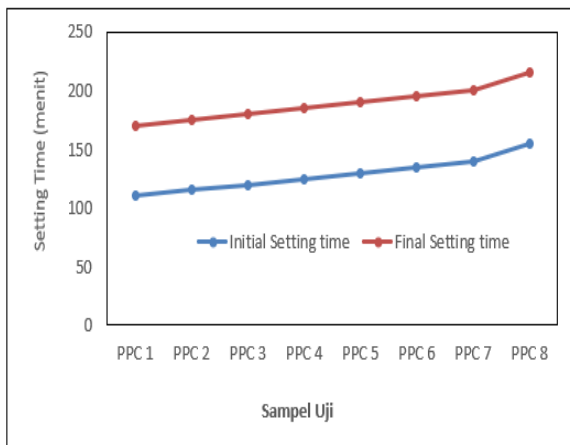
Kuat tekan yang diperoleh dari hasil pengujian semua sampel memberikan nilai pada kisaran 147 kg/cm² sampai 250 kg/cm² untuk umur mortar 3 hari, 210 kg/cm² sampai 315 kg/cm² pada umur mortar 7 hari,

dan 290 kg/cm² sampai 423 kg/cm² pada umur mortar 28 hari. Kesemua nilai ini memenuhi standar mutu fisika PPC berdasarkan SNI 0302-2014 [16] dan ASTM C270 [12].

Dengan kata lain, hasil analisis menunjukkan bahwa *clinker ratio optimum* diperoleh pada penambahan *fly ash* 40% dengan sampel uji PPC-H. Hasil analisis memberikan data kuat tekan sebesar 416 kg/cm² pada 28 hari, dengan kehalusan (*blaine*) sebesar 3760 cm²/gr dan residu 1,50%. Hal ini memberikan informasi bahwa dengan penggunaan *fly ash* sebesar 40% dapat mereduksi penggunaan *clinker* sehingga memberikan pengaruh pada pengurangan pemakaian bahan bakar serta emisi udara yang dihasilkan [17].



Gambar 3. Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap Kuat Tekan



Gambar 4. Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap *setting time*

Pengujian *Setting Time*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam mencapai suatu tahap dimana pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan [17]. Tabel 3 dan Gambar 4 memperlihatkan bahwa penambahan *fly ash* berpengaruh secara signifikan pada peningkatan nilai *setting time*. Semakin tinggi komposisi *fly ash* maka semakin lama waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir terjadi. Hal ini disebabkan karena kandungan SO_3 yang meningkat sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3. *Setting time* yang diperoleh dari hasil analisis pengujian semua sampel memberikan nilai *initial setting time* pada range 110 menit sampai 155 menit dan 170 menit sampai 215 menit untuk *final setting time*. Nilai ini memenuhi standar mutu fisika PPC berdasarkan SNI 0302-2014 [5]. Nilai *setting time* terbaik dihasilkan pada sampel PPC-G yaitu 155 menit pada pengikatan awal dan 215 menit pada pengikatan akhir.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, secara umum semua sampel PPC memenuhi standar SNI 0302-2014. Hasil optimal *clinker* ratio diperoleh pada sampel PPC-H dengan proporsi *fly ash* sebesar 40%

dan *clinker* 52% serta memiliki kuat tekan sebesar 423 kg/cm² pada 28 hari, *initial time* 155 menit dan *final time* 215 menit. Selain itu PPC-H meskipun memiliki nilai kuat tekan paling rendah dan waktu pengikatan awal juga akhir paling lama diantara sampel semen yang lain namun menggunakan *clinker* yang paling sedikit sehingga berpengaruh pada pemakaian bahan bakar yang tidak banyak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada P.T Indocement Tunggal Prakasa Tbk. yang telah memberikan dukungan fasilitas laboratorium dan perpustakaan selain itu diucapkan terima kasih kepada Teknik Kimia Universitas Jayabaya atas pendanaan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Purnawan and A. Prabowo, "Pengaruh Penambahan Limestone terhadap Kuat Tekan Semen Portland Komposit," *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 11, no. 2, pp. 86-93, 2017.
- [2] S. B. Singh, N. Thammishetti and P. Munjal, "Role of water cement ratio on the cement mortar," *Journal of Building Engineering*, vol. 4, pp. 94-100, 2015.
- [3] J. E. Waani and L. Elisabeth, "Substitusi Material *Pozolan* Terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen," *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 24, no. 3, pp. 237-245, 2017.
- [4] C. Nurhayati and T. Susanto,

- "Pemanfaatan *Fly ash* Batubara Sebagai Bahan Membran Keramik Pada Unit Pengolah Air Gambut," *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, vol. 26, no. 2, pp. 95-105, 2015.
- [5] M. Thomas, "Optimizing the Use of *Fly ash* in Concrete," Portland Cement Assosiation, Canada, 2008.
- [6] N. Irawati, N. T. Putri and A. H. BA, "Strategi Perencanaan Jumlah Material Tambahan Dalam Memproduksi Semen Dengan Pendekatan Taguchi Untuk Meminimalkan Biaya Produksi (Studi Kasus Pt Semen Padang)," *Optimasi Sistem Industri*, vol. 14, no. 1, pp. 176-191, 2015.
- [7] H. Song, V. Saraswathy, S. Muralidharan, C.-H. Lee and K. Thangavel, "Corrosion performance of steel in composite concrete system admixed with chloride and various alkaline nitrites," *Corrosion Engineering, Science and Technology*, vol. 44, no. 6, pp. 408-415, 2013.
- [8] S. Khelifi, F. Ayari, H. Tiss and D. B. H. Chehimi, "X-ray fluorescence analysis of Portland cement and *clinker* for major and trace elements: accuracy and precision," *Journal of the Australian Ceramic Society*, vol. 53, pp. 743-749, 2017.
- [9] V. Deulkar, M. Verma and U. Pendharkar, "Comparative study of Eco Cement with OPC and PPC," *International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation*, vol. 3, no. 1, pp. 30-37, 2012.
- [10] R. L. Amhudo, R. I. G. Putu and T. Tavio, "Comparison of Compressive and Tensile Strengths of Dry-Cast Concrete with Ordinary Portland and Portland Pozzolana Cements," *Civil Engineering Journal*, vol. 4, no. 8, pp. 1760-1771, 2018.
- [11] M. A. Elbagerma, A. I. Alajtal and M. Alkerzab, "Chemical Analysis of Available Portland Cement in Libyan Market Using X-Ray Fluorescence," *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 73-75, 2014.
- [12] Anonim, *Annual Book of ASTM Standard Section*, Philadhelphia: American Standard for Testing Material, 2008.
- [13] K. Nizar, A. M. M. A. Bakri, A. R. Rafiza, H. Kamarudin, A. Alidal and Y. Zarina, "Study on Physical and Chemical Properties of *Fly ash* from Different Area in Malaysia," *Key Engineering Materials*, vol. 594, no. 595, pp. 985-989, 2014.
- [14] I. Purnawan and A. Prabowo, "Pengaruh Penambahan Limestone terhadap Kuat Tekan Semen," *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 11, no. 2, pp. 86-93, 2017.
- [15] A. Harison, V. Srivastava and A. Herbert, "Effect of *Fly ash* on Compressive Strength of Portland Pozzolona Cement Concrete," *Journal of Academia and Industrial Research (JAIR)*, vol. 2, no. 8, pp. 476-479, 2014.
- [16] R. K. Rohman and S. Aji, "Effect of *fly ash* on compressive strength of concrete containing recycled coarse aggregate," India, 2018.
- [17] P. R. Wankhede and V. A. Fulari, "Effect of *Fly ash* on Properties of Concrete," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, no. 7,

pp. 284-289, 2014.