

Sifat-sifat Fisik Mortar Geopolimer dengan Bahan Dasar Campuran Abu Terbang (*Fly Ash*) dan Abu Sawit (*Palm Oil Fuel Ash*)

Aldi Nauri Islami^{1,a}, Monita Wibisono^{2,b}, Edy Saputra^{3,c}

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau

² Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau

³ Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5, Pekanbaru 28293

E-mail: aldy_nauri@yahoo.com^a, monita.olivia@lecturer.unri.ac.id^b,

edysaputra_eng@yahoo.com^c

ABSTRACT

This research study about characteristic of physical of mortar geopolimer from blend of fly ash and palm oil fuel ash. Alkaline activator solution used to processed the activation of Silica (Si) and Alumina (Al) which implied in both types of the ash mixture from NaOH 14 M and liquid of natrium silicate (Na_2SiO_3). Proportion the blended fly ash and palm oil fuel ash ratios of 100:0, 25:75, 50:50, 75:25, and 0:100. Sand to blended ash by mass ratios of 2,75:1. Sampel out 5x5x5 cm on cube geopolimer. This research is used mix with the activator modulus 1,00 and 1,25, activator dosage ($\%\text{Na}_2\text{O}$) 22,5, cured at room temperature at 3 days and heat curedt 110°C for 24 hours then cured at room temperature for 7 day. Result from this research represents compressive strength the mortar as according to variation blended ash. Compressive strength will mount as according to modulus of activator and activator dose with the correct combination blended ash.

Keywords : geopolimer, fly ash, palm oil fuel ash, activator modulus, mix proportions

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini pembangunan sangat meningkat khususnya dibidang konstruksi. Pembangunan konstruksi sangat erat kaitannya dengan penggunaan material semen untuk dijadikan beton segar. Bertolak dari meningkatnya penggunaan material semen membuat para perusahaan memproduksi semen secara besar-besaran. Akibat dari produksi semen secara besar-besaran membuat perubahan iklim terjadi

pada atmosfer dan menimbulkan efek pemanasan global. Perubahan iklim sangat berkaitan dengan pemanasan global (*global warming*) yang menjadi permasalahan bagi semua orang. Pemanasan global disebabkan oleh efek rumah kaca yaitu gas karbon dioksida (CO_2) yang menjadi penyumbang terbesar yaitu sebesar 65%. Produksi semen juga salah satu aspek meningkatnya gas efek

rumah kaca sebesar 6 % dari tahun 1988 hingga tahun 2015 (Ariffin et al. 2011).

Ketergantungan penggunaan semen pada bidang konstruksi menyebabkan peningkatan produksi semen Portland yang berdampak pada kondisi lingkungan. Penggunaan semen ternyata memberikan dampak negatif terhadap atmosfer yang menghasilkan gas buangan CO₂ pada saat memproduksi semen, gas buangan dihasilkan setara dengan berat semen yang dihasilkan (Triwulan et al. 2007).

Pada tahun 1980-an, Professor Joseph Davidovits menemukan sebuah perekat alternatif pengganti semen yang dikenal dengan geopolimer. Pembuatan material geopolimer menggunakan bahan yang banyak mengandung unsur-unsur silikon dan alumunium. Unsur-unsur tersebut banyak ditemukan pada material-material buangan hasil sampingan industri, seperti abu terbang dan slag. Beton geopolimer memberikan keuntungan dalam hal pemanfaatan limbah hasil buangan pabrik sebagai bahan yang dapat digunakan, meskipun perbedaan tempat asal sumber material berpengaruh terhadap tingkatan hasil kekuatan (Olivia, 2011).

Provinsi Riau merupakan salah satu produsen CPO (*crude palm oil*) terbesar di Indonesia. Menurut data dari Dinas Perkebunan Riau, luas area perkebunan kelapa sawit mencapai 2.372.402 hektar (data BPS 2012). Sebagai salah satu

penghasil CPO terbesar di Indonesia tentunya menghasilkan hasil sampingan berupa limbah abu sawit (POFA) yaitu limbah yang berasal dari pembakaran cangkang dan serabut buah kelapa sawit. Abu sawit banyak mengandung unsur silikon dan alumunium. Unsur yang dimiliki oleh POFA bisa dijadikan alternatif pengganti semen. Selain POFA, bahan limbah sisa hasil proses pembakaran batu bara yang keluar dari tungku pembakaran atau yang lebih dikenal dengan abu terbang/*fly ash* mempunyai unsur yang cocok menjadi pengisi material pengganti semen pada pembuatan beton. Kedua material hasil sisa industri ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar geopolimer, kandungan silika dan alumunium yang tinggi dari kedua material ini sangat cocok digabungkan untuk membuat mortar geopolimer. Pemanfaatan bahan sisa keduanya terlepas dari pengurangan jumlah penumpukan limbah, tetapi juga mempunyai kelebihan kuat tekannya relatif lebih tinggi (Ariffin et al. 2011), volume yang stabil (Ariffin et al. 2011, Bhutta et al. 2013), tahan terhadap serangan asam sulfat (Bhutta et al. 2014), tahan terhadap temperatur yang tinggi (Hussin et al. 2014), dan lebih tahan dari mortar biasa.

Beton geopolimer campuran abu terbang dan abu sawit sudah diteliti sebelumnya oleh Ariffin et al. (2011) yang

menghasilkan kuat tekan paling tinggi umur 28 hari sebesar 25 MPa dengan perbandingan campuran 70:30 terhadap FA:POFA. Menurut Hussin et al. (2014) beton geopolimer campuran FA dan POFA lebih tahan terhadap temperatur yang panas dibandingkan beton biasa, beton geopolimer menunjukkan kerusakan pada suhu 600 dan 800°C dibandingkan dengan beton biasa yang mulai rusak pada suhu 200°C.

Sifat-sifat fisik beton geopolimer dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis dan dosis aktivator, modulus aktivator, suhu perawatan, lama waktu perawatan, dan kadar air dalam larutan. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa dosis dan modulus aktivator optimum yang digunakan pada campuran beton geopolimer abu terbang akan menghasilkan beton geopolimer dengan kuat tekan dan kekecekan tinggi. Komposisi aktivator dalam jumlah yang tepat menjadi salah satu parameter untuk menghasilkan beton geopolimer yang bermutu (Hardjito, 2005). Kombinasi aktivator NaOH dan natrium silikat telah banyak digunakan dan memberikan hasil yang terbaik. Modulus aktivator (Ms) merupakan perbandingan massa SiO₂ dan Na₂O pada larutan alkali aktivator, sedangkan % Na₂O dalam larutan alkali merupakan perbandingan kandungan Na₂O dengan massa binder. Modulus aktivator yang digunakan penelitian terdahulu berkisar antara 1,31-1,36 (Hardjito, 2005)

dan 0,75-1,25 (Adam, 2009), sedangkan dosis optimum Na₂O yang digunakan untuk beton geopolimer bervariasi dengan rentang berkisar 5,3-5,7% (Hardjito, 2005) dan 7,5-15% (Adam, 2009).

Mortar geopolimer dengan bahan dasar abu terbang (FA) dan abu sawit (POFA) sudah banyak diteliti. Dari penelitian itu sebelumnya diketahui banyak mengandung unsur-unsur geopolimer seperti silika dan alumina. Menurut (Olivia, 2011) abu terbang kaya akan kandungan unsur silika dan aluminium yang keduanya berguna untuk proses geopolimerisasi. Dalam Olivia et al. (2005) abu terbang kaya akan kandungan yang meningkatkan sifat kedap air. Geopolimer POFA membentuk suatu gel yang akan mengurangi kandungan zat kapur hidroksida yang bisa memperbaiki kualitas dari beton biasa (Sooraj, 2013).

Sementara itu mortar geopolimer dengan bahan dasar campuran abu terbang (FA) dengan abu sawit (POFA) masih sedikit informasi tentang geopolimer campuran ini. Selain sebagai solusi alternatif mengurangi pemakaian semen, tetapi juga sebagai suatu cara yang bernilai ekonomis mengurangi penumpukan limbah abu terbang dan abu sawit. Keduanya kaya akan kandungan silika dan alumina yang diperlukan untuk proses geopolimerisasi, sehingga jika digabungkan akan membentuk sifat yang kuat tekannya relatif lebih tinggi

(Ariffin et al. 2011), volume yang stabil (Ariffin et al. 2011, Bhutta et al. 2013), tahan terhadap serangan asam sulfat (Bhutta et al. 2014), tahan terhadap temperatur yang tinggi (Hussin et al. 2014), dan lebih tahan dari mortar biasa. Penelitian sebelumnya terdapat keunggulan geopolimer campuran FA:POFA yang masih bisa digali lagi informasinya.

Sifat-sifat fisik yang lebih baik dari beton geopolimer campuran abu terbang dan abu sawit akan dilihat melalui pengujian kuat tekan, *sorptivity* dan porositas. Pengujian yang dilakukan dengan menganalisa kuat tekan optimum dari komposisi perbandingan abu terbang dengan abu sawit. Kemudian setelah didapat perbandingan kuat tekan optimum dilakukan pengujian kuat tekan dengan bervariasi dosis aktivator, modulus aktivator, metode perawatan, dan kadar air dalam larutan. Penggunaan bahan dasar yang berbeda akan memerlukan komposisi aktivator yang berbeda pula untuk menghasilkan kuat tekan yang tinggi.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pemeriksaan Karakteristik Material

Pada penelitian ini dilakukan pengujian karakteristik bahan dasar material campuran yang digunakan dalam pembuatan mortar geopolimer. Pengujian dilakukan meliputi pengujian karakteristik agregat halus dan abu sawit. Pengujian

agregat halus meliputi analisa saringan, berat volume, berat jenis, kadar organik, kadar lumpur dan kadar air. Pengujian abu terbang dan abu sawit meliputi pengujian karakteristik fisik dan kimia. Abu terbang dan abu sawit yang digunakan berasal Kabupaten Pelalawan. Pengujian karakteristik fisik abu terbang dan abu sawit meliputi pengujian kehalusan dan berat jenis, sedangkan karakteristik kimia dilakukan dengan mengirim sampel abu terbang abu sawit lolos saringan #200 ke Laboratorium Pusat Sumber Daya Geologi Bandung. Dari hasil pengujian, diketahui komposisi kimia dari abu terbang dan abu sawit yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Kimia Abu Terbang dan Abu Sawit dari Pelalawan

Parameter	Abu Terbang % Berat	Abu Sawit % Berat
SiO ₂	37,98	64,36
Al ₂ O ₃	20,52	4,36
Fe ₂ O ₃	2,17	3,41
CaO	2,10	7,92
MgO	23,76	4,58
Na ₂ O	0,41	0,00
K ₂ O	0,58	5,57
Ti ₂ O ₂	0,24	0,87
MnO	0,03	0,10
P ₂ O ₅	3,54	3,64
SO ₃)	0,18	0,04
Cu (ppm)	85	46
Zn (ppm)	161	60
H ₂ O ⁻	1,73	0,59

Keterangan : 1% = 10.000 ppm

Sumber : Badan Geologi Sumber Daya Geologi, 2014

2.2. Pelaksanaan Pengujian dan Pembuatan Mortar

Pada penelitian ini komposisi campuran *mix design* mengacu pada penelitian dari Putri (2013). Parameter-parameter yang digunakan untuk perhitungan mortar terlebih dahulu ditentukan. Perbandingan pasir dengan binder ditetapkan 2,75 sesuai ASTM C 109. Pada larutan alkali terdapat nilai solid yang harus diperhitungkan agar pada saat proses pengadukan lebih mudah, maka digunakan nilai *w/s* (*air/solid*) sebesar 0,45. Material penyusun mortar yang dibutuhkan adalah abu terbang dan abu sawit dengan rasio perbandingan yang akan diuji, agregat halus, larutan alkali aktivator yang dibuat dari campuran larutan natrium silikat (Na_2SiO_3) dengan larutan natrium hidroksida (NaOH) 14M, air, serta bahan tambah kimia *superplasticizer* jenis *sikament-NN* untuk *workability*. Perencanaan komposisi campuran (*mix design*) menggunakan metode *absolute volume*. Metode ini mengasumsikan bahwa volume padat mortar sama dengan total volume keseluruhan bahan-bahan penyusunnya. Pengujian dilanjutkan dengan *mix design* benda uji.

Pada penelitian ini dilakukan proses *mix* untuk mendapatkan komposisi persentase perbandingan campuran abu terbang dan abu sawit pada mortar geopolimer. Proses pembuatan benda uji ini dilakukan dengan membuat mortar geopolimer dengan perbandingan campuran abu terbang dan abu sawit 100:0, 25:75, 50:50, 75:25, dan 0:100. Dari proses pembuatan benda uji yang menghasilkan kuat tekan optimum akan dijadikan persentase campuran abu terbang dan abu sawit pada benda uji. Benda uji kemudian dibuat menjadi mortar ukuran 5x5x5 cm dengan beberapa variasi *mix*. Kuat tekan rencana mortar geopolimer ini sebesar 20 MPa

Tabel 2 Variasi Mix

Mix	G %Na ₂ O	Ms	Rest period (hari)	Persentase Campuran FA : POFA (%)
1	22.5	1.00	3	100:0
				25:75
				50:50
				75:25
				0:100
2	22.5	1,25	3	100:0
				25:75
				50:50
				75:25
				0:100

Tabel 3 Komposisi Bahan Penyusun Mortar Geopolimer

Mix	Campuran Abu	Pasir	Add water	Natrium Silikat	NaOH	SP
G22.5-1.00	438.85	1206.84	40.46	310.51	132.87	6.58
G22.5-1.25	432.05	1188.14	26.06	382.12	103.40	6.48

Pada penelitian ini larutan alkali aktivator dibuat 1-3 jam sebelum dilakukan pencampuran material. Proses pencampuran mortar dilakukan secara manual (Gambar 1). Pertama pengadukan abu terbang, abu sawit, dan pasir sampai campuran homogen. Selanjutnya penuangan larutan alkali aktivator. Adukan mortar yang telah tercampur rata kemudian dimasukkan ke dalam cetakan mortar 5x5x5 cm sebanyak 2 lapisan dengan pemadatan 32 kali tusukan tiap lapisnya dan diikuti penggertaran dengan pemukul karet.



Gambar 1 Bahan Dasar dan Proses Pembuatan Mortar

Mortar geopolimer campuran abu terbang dengan abu sawit perlu *rest period* 3 hari lalu dioven \pm 24 jam. Umur benda uji dihitung setelah dibuka dari cetakan dan dianggap 0 hari, kemudian setelah berumur 7 hari sejak keluar dari oven maka mortar-mortar geopolimer ini baru bisa dilakukan pengujian. Umur pengujian mortar geopolimer adalah 7 hari. Adapun pengujian yang terakhir dilakukan, yaitu pengujian kuat tekan (SNI 03-1974-1990).

Pengujian dilakukan pada benda uji umur tujuh hari. Pengujian kuat tekan menggunakan mesin uji tekan (*Compressing Test Machine*) dilakukan untuk semua variasi mix. Pembebanan dilakukan hingga benda uji menjadi hancur. Beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan dicatat. Pengukuran kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

f'_c = kuat tekan mortar, dalam MPa

P = beban maksimum total, dalam N

A = luas dari permukaan yang dibebani, dalam mm²

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pemeriksaan Agregat

Hasil pengujian karakteristik agregat halus yang berasal dari Sungai Kampar dapat dilihat pada Tabel 4. Dari pengujian karakteristik agregat halus diketahui bahwa nilai absorpsi dan kadar air tidak memenuhi nilai standar. Absorpsi terlalu kecil dikarenakan kondisi agregat yang basah saat pengujian. Agregat yang berada di luar ruangan, terkena hujan sebelum pengujian dilakukan. Kadar air terlalu kecil dikarenakan disaat pengujian agregat halus terlalu kering tidak dalam kondisi SSD sehingga menghasilkan kadar air yang tidak memenuhi standar, pada saat pembuatan

mortar agregat halus yang digunakan dalam kondisi SSD agar masuk nilai standar. Untuk jenis pemeriksaan lainnya telah memenuhi standar spesifikasi

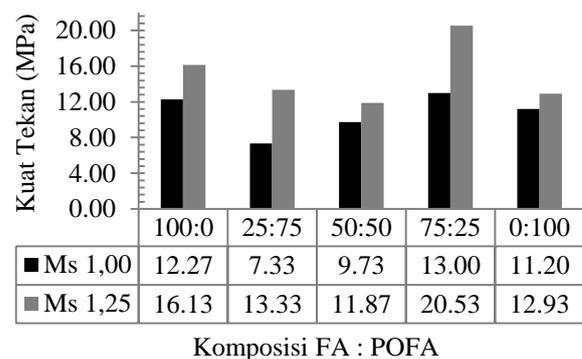
Tabel 4 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Hasil	Standar Spesifikasi
Kadar Lumpur (%)	4,49	< 5
Berat Jenis (gr/cm ³)		
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,68	2,5 - 2,7
b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,60	2,5 - 2,7
c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,63	2,5 - 2,7
d. <i>Absorption (%)</i>	1,24	2 – 7
Kadar air (%)	1,85	3 – 5
Modulus kehalusan	2,95	1,5 – 3,8
Berat Volume		
a. Kondisi padat	1,70	> 1,2
b. Kondisi gembur	1,60	> 1,2
Kadar Organik	No. 3	< No. 3

3.2. Hasil Kuat Tekan

Pada penelitian ini dilakukan proses *trial mix* untuk mendapatkan komposisi persentase perbandingan campuran abu terbang dan abu sawit pada mortar geopolimer. Persentase campuran yang diuji yaitu 100:0, 25:75, 50:50, 75:25, dan 0:100. Dosis aktivator (%Na₂O) yang dipakai yaitu 22,5% (Putri 2013). Modulus Aktivator (Ms) yang diuji kali ini yaitu 1,00 dan 1,25.

Mortar geopolimer diberikan *rest period* 3 hari, dan setelah lewat *rest period* diberikan perawatan suhu curing 110°C selama 24 jam untuk mempercepat proses polimerisasi antara larutan alkali aktivator dengan kandungan silika (Si) dan Alumina (Al) pada abu terbang dan abu sawit. Pengaruh nilai modulus aktivator terhadap persentase campuran abu terbang dan abu sawit menghasilkan kuat tekan yang berbeda-beda. Hasil kuat tekan dari mortar campuran abu terbang dan abu sawit dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Hasil Kuat Tekan dengan Persentase Campuran Abu Terbang dan Abu Sawit

Dari Gambar 2 dapat dilihat hasil kuat tekan tertinggi dengan persentase FA:POFA 75:25. Kuat tekan dari mortar geopolimer dengan rasio perbandingan abu terbang dan abu sawit dengan persentase 0:100 sangat rendah dikarenakan rendahnya kandungan alumina pada abu sawit (Ariffin et al. 2011). Kuat tekan tertinggi diperoleh dari rasio perbandingan abu terbang dengan abu sawit dengan persentase 75:25 ini dikarenakan Reaksi kimia yang cepat dari larutan alkali terhadap kandungan mineral

Si-Al yang terdapat pada abu terbang membuat geopolimer melekat dan menghasilkan kuat tekan lebih tinggi. Berdasarkan hasil pengujian terjadi peningkatan kuat tekan tertinggi pada G22.5-1.25. Hal ini disebabkan kadar NaOH dan Natrium silikat dalam campuran mencapai kadar optimum terhadap mortar geopolimer campuran abu terbang dan abu sawit. NaOH berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Si dan Al dalam campuran abu dan membentuk ikatan yang kuat. Ion OH- dalam NaOH merupakan elemen penting pada tahap awal polimerisasi. Ketika konsentrasi ion OH- tinggi, maka pemutusan rantai Si-Al terjadi sangat lambat. Namun, penurunan kadar NaOH pada mix G22.5-1.25 menyebabkan konsentrasi ion OH- rendah, sehingga pemutusan rantai Si-Al berlangsung cepat. Oleh karena itu, kuat tekan yang dihasilkan meningkat. Dari penelitian terdahulu oleh Adam (2009) menunjukkan hal yang serupa. Kuat tekan mortar geopolimer abu terbang meningkat dari modulus aktivator 1,00 hingga 1,25.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap mortar geopolimer campuran abu terbang dan abu sawit, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan mortar geopolimer campuran abu terbang dan abu sawit dipengaruhi oleh rasio persentase campuran abu terbang dan abu sawit serta modulus aktivator (Ms) yang digunakan. Kuat tekan akan meningkat seiring dengan peningkatan persentase abu terbang dalam mortar campuran abu terbang dan abu sawit. Kuat tekan paling tinggi dihasilkan dari rasio campuran abu terbang dengan abu sawit dengan persentase campuran 75:25 yang menghasilkan kuat tekan sebesar 20,53 MPa.
2. Peningkatan jumlah modulus aktivator dari 1,00 ke 1,25 terbukti meningkatkan kuat tekan mortar geopolimer yang dihasilkan.
3. Kandungan alumina yang rendah dari abu sawit membuatnya sulitnya bereaksi ketika dicampur dengan larutan aktivator sehingga menghasilkan kuat tekan yang relatif lebih rendah dibanding dengan mortar yang terbuat dari abu terbang.
4. Pemberian perawatan suhu tinggi membuat geopolimer yang dihasilkan kuat tekan yang lebih tinggi karena reaksi polimerisasi berlangsung lebih cepat dan komplit.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil pengalaman melakukan penelitian di laboratorium, maka dapat dikemukakan saran yang mungkin

dapat dipergunakan untuk penelitian lanjutan:

1. Perlu adanya penelitian tentang penggunaan abu terbang dan abu sawit yang mempunyai tipe pozzolan yang sama.
2. Perlu adanya pengujian tambahan tentang perawatan mortar geopolimer campuran abu terbang dan abu sawit untuk menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi serta umur pengujian lebih lama agar hasil penelitian lebih lengkap.
3. Agregat yang akan digunakan sebagai material benda uji, perlu dijaga kualitasnya agar pada saat pengujian karakteristik agregat, nilai -nilai karakteristiknya sesuai standar spesifikasi yang telah ditetapkan.
4. Perlu adanya perencanaan waktu yang baik dalam pembuatan benda uji, agar pengujian dapat dilakukan sesuai jadwal yang telah diperhitungkan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian terutama kepada:

1. Orang tua, kakak, adik, serta abang yang selalu tanpa henti memberikan motivasi serta kepercayaan selama penelitian ini.
2. Dosen Pembimbing, Ibu Monita Olivia dan Bapak Edy Saputra yang telah membimbing dan selalu memberikan

motivasi serta masukan hingga penelitian ini dapat terselesaikan.

3. Teman satu perjuangan Tugas Akhir, Salman, Reny, Nanda, Rizky, Bang Harry dan Kak Fela yang senantiasa memberikan saran dan bantuan.
4. Teman-teman seperjuangan yang selalu sabar dan semangat membantu baik dalam diskusi, motivasi, do'a, dan tenaga.
5. Para asisten Laboratorium Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Riau.
6. Rekan-rekan seperjuangan mahasiswa/i Teknik Sipil S-1 2010 se-angkatan terkhusus buat teman-teman sekelas di Kelas A.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Adam, A.A., 2009. Strength and Durability Properties of Alkali Activated Slag and Fly Ash-Based Geopolymer Concrete the degree of Doctor of Philosophy. , (August).
- Ariffin, M.A.M., Hussin, M.W. & Bhutta, M.A.R., 2011. Mix Design and Compressive Strength of Geopolymer Concrete Containing Blended Ash from Agro-Industrial Wastes. *Advanced Materials Research*, 339, pp.452–457.
- Bhutta, M.A.R. et al., 2013. Sulfate and Sulfuric Acid Resistance of Geopolymer Mortars Using Waste Blended Ash. *Jurnal Teknologi*

- (*Sciences & Engineering*) 61:3, pp.1–5.
Available at:
<http://www.jurnalteknologi.utm.my/index.php/jurnalteknologi/article/view/1762> [Accessed May 18, 2014].
- Bhutta, M.A.R. et al., 2014. Sulphate Resistance of Geopolymer Concrete Prepared from Blended Waste Fuel Ash. , pp.1–6.
- Hardjito, D., 2005. *Studies on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Curtin University of Technology.
- Hussin, M.W. et al., 2014. Performance of blended ash geopolymer concrete at elevated temperatures.
- Olivia, M., 2011. *Durability Related Properties of Low Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Curtin University of Technology.
- Olivia, M. et al., 2005. Pemanfaatan Abu Sawit Sebagai Bahan Tambah Pada Beton. *Jurnal Sains dan Teknologi* 4, 4(I), pp.10–15.
- Putri, W.A.H., 2013. *Karakteristik Mortar Geopolimer Abu Sawit*. Jurusan Teknik Sipil S1, Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Sooraj, V.M., 2013. Effect of Palm Oil Fuel Ash (POFA) on Strength Properties of Concrete. , 3(6), pp.1–7.
- Triwulan, Jaya Ekaputri, J. & Adiningtyas, T., 2007. Analisa sifat mekanik beton geopolimer berbahan dasar fly ash dan lumpur porong kering sebagai pengisi. , 33, pp.33–45.