



KAJIAN SIFAT MEKANIK CAMPURAN EPOXY-FLY ASH SEBAGAI MATERIAL UNTUK KEBUTUHAN RETROFIT STRUKTUR

Fahrisa Deviadini^{1*}, Kiagus Muhammad Aminuddin², Imroatul C Juliana³

^{1,2,3}Program Studi Program Profesi Insinyur (PSPPI), Fakultas Teknik, Universitas
Sriwijaya, Kota Palembang, Indonesia
E-mail: Fdeviandini@gmail.com

ABSTRACT

One of retrofit material is a material made from epoxy resin. This material is generally mixed with epoxy resin, hardener, and filler so that it can be applied to concrete surfaces. This research used fly ash and sand as filler for epoxy resin and hardener. A Good filler can be impacted to high mechanical strength due to molecules density as filler. This research is directed to find out the results slump flow, setting time, compressive strength, and flexural strength to be produced with a mixture of epoxy as much as 15%-30% and type F fly ash as much as 5%-20%. The results showed that the setting time for the fastest initial time and final time are 85 minutes and 125 minutes. This result is faster than normal mortar with 90 minutes of initial time and 1440 minutes of final time. The longest initial time and final time are 125 minutes and 165 minutes. Minimum initial time and final time is obtained from 5% of fly ash and 30% of epoxy. The compressive strength result of 28 days with variation 20% of fly ash and 15% epoxy from its mixtures obtained the maximum compressive strength 97,71 MPa and minimum variation mixture is obtained as 87,71 MPa with 5% fly ash and 30% epoxy. The flexural strength result of 28 days with variation 20% of fly as and 15% epoxy is obtained the maximum flexural value 46,60 MPa and the value of minimum variation mixture as 39,31MPa is obtained from 5% of fly ash and 30% of epoxy.

Keywords: *Compressive Strength, Flexural Strength, Epoxy, Slump, Setting Time, Fly Ash*

ABSTRAK

Salah satu material retrofit adalah material yang berbahan dasar resin epoxy. Material ini pada umumnya dicampur dengan epoxy resin, hardener dan filler agar dapat diaplikasikan pada permukaan beton. Penelitian ini memilih limbah abu batubara (fly ash) dan pasir sebagai bahan pengisi untuk campuran epoxy resin dan hardener. Pengisi yang baik dapat mengakibatkan kekuatan mekanik yang tinggi karena kepadatan molekul dari pengisi (filler). Kajian ini mencoba mengetahui hasil dari nilai slump, setting time, kuat tekan, dan kuat lentur yang akan dihasilkan dengan campuran epoxy sebanyak 15%-30% dan fly ash tipe F sebanyak 5%-20%. Hasil

Article History

Received: Mei 2025

Reviewed: Mei 2025

Published: Mei 2025

Plagiarism Checker No
235

Prefix DOI :

[10.8734/Kohesi.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



kajian menunjukkan bahwa nilai setting time untuk initial time tercepat sebesar 85 menit dan final time sebesar 125 menit. Hasil ini lebih cepat dibandingkan dengan mortar normal dengan initial time sebesar 90 menit dan final time 1440 menit. Initial time terlama selama 125 menit dan final time 165 menit. Initial time dan final time minimum diperoleh dari campuran dengan 5% kadar fly ash dan 30% epoxy. Hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari untuk campuran dengan variasi 20% kadar fly ash dan 15% epoxy didapat hasil kuat tekan campuran maksimum sebesar 97,71 MPa dan campuran variasi paling minimum sebesar 87,71 MPa yang diperoleh dari campuran dengan 5% kadar fly ash dan 30% epoxy. Hasil pengujian kuat lentur umur 28 hari untuk campuran dengan variasi 20% kadar fly ash dan 15% epoxy didapat hasil kuat lentur campuran maksimum sebesar 46,60 MPa dan campuran variasi paling minimum sebesar 39,31 MPa yang diperoleh dari campuran dengan 5% kadar fly ash dan 30% epoxy.

Kata Kunci: Kuat Tekan, Kuat Lentur, Epoxy, Slump, Setting Time, Fly Ash

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang mempunyai kekuatan tekan relatif tinggi, tetapi kekuatan tariknya rendah. Namun beton memiliki kelemahan antara lain sifat getas yang dapat menyebabkan retak pada beton. Retak pada beton diakibatkan oleh mutu beton yang tidak sesuai dari perencanaan, adanya penambahan massa bangunan yang mengakibatkan bertambahnya beban yang ditahan, kebakaran, gempa bumi, dan usia bangunan.

Menurut Isneini (2009) jenis material untuk perbaikan (*retrofit*) yaitu material yang bersifat *cementitious*, material yang berbahan dasar resin atau epoxy, *elastomeric sealants*, silikon, *bentonite*, dan yang berbahan dasar aspal (*bituminous coating*). Material yang berbahan dasar resin atau epoxy pada umumnya dibuat atas dasar epoxy resin yang berguna untuk injeksi yang dapat dicampur dengan epoxy dan diaplikasikan pada permukaan beton. Penentuan komposisi optimum yang benar dapat meningkatkan sifat mekanik yang lebih baik.

Penelitian campuran epoxy-fly ash sebagai bahan *retrofit* memiliki beberapa tujuan yaitu untuk menentukan komposisi optimum campuran epoxy-fly ash dan untuk mengetahui pengaruh penggunaan epoxy-fly ash terhadap sifat mekanik. Fly-ash yang digunakan adalah yang berasal dari PLTU Tanjung Enim Sumatera Selatan dengan variasi 5%-20%. Zat epoxy yang digunakan adalah epoxy resin berbahan dasar *Bisphenol A* dan *hardener* dengan variasi 15%-30%. Agregat halus yang digunakan yang lolos saringan no.200. Sifat mekanik dan komposisi optimum untuk kuat tekan pada umur 7, 14, 21 dan 28 hari. Kuat lentur pada umur 7, 14, dan 28 hari untuk kuat lentur.

Hipotesis penelitian sifat mekanik campuran epoxy-fly ash sebagai material *retrofit* dapat menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur yang lebih besar dengan penambahan fly ash sebagai *filler*. Komposisi optimum campuran epoxy-fly ash yang dihasilkan bisa digunakan sebagai material *retrofit*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Retrofit merupakan tindakan terhadap sebuah bangunan yang terdiri dari perbaikan, restorasi, dan perkuatan struktur bangunan tanpa harus mengubah bentuk aslinya. Jenis kerusakan yang sering terjadi pada beton antara lain:

1) Retak (*crack*)

Retak (*crack*) struktur terdiri dari retak lentur yang memiliki pola vertikal biasanya disebabkan oleh beban yang melebihi kemampuan balok dan retak geser memiliki pola diagonal biasa terjadi setelah adanya retak lentur yang memiliki pola vertikal. dimana mekanisme terjadinya retak berdasarkan kapasitas kekuatan tarik dan kapasitas regangan tarik seperti pada Gambar 2.1

2) Pengelupasan beton (*spalling*)

Pengelupasan beton (*spalling*) pada struktur dimana terjadi pengelupasan selimut beton baik dalam ukuran besar maupun kecil sehingga tulangan pada beton terlihat. Kerusakan ini disebabkan oleh campuran beton yang kurang homogen dan juga faktor umur beton. Kebakaran juga dapat menyebabkan *spalling* karena silika pecah dan memuai sehingga permukaan beton menjadi lemah serta rapuh.

3) Patah

Patah pada beton sering terjadi dikarenakan struktur beton yang tidak mampu menahan beban. Kerusakan ini bisa terjadi karena pada saat pembuatan campuran beton (*mix design*) kurang memperhatikan proporsi yang digunakan dan adanya penambahan massa bangunan yang mengakibatkan bertambahnya beban yang ditahan.

4) Delaminasi

Delaminasi merupakan jenis kerusakan beton yang berbentuk pengelupasan tipis pada permukaan beton sekitar 5mm dari struktur plat beton. Delaminasi sering terjadi pada struktur beton bertulang yang diakibatkan kurangnya lapisan perekat. Kerusakan ini bisa terjadi pada konstruksi bangunan karena kegagalan pada pembuatan campuran, reaksi kimia, kelebihan beban dan sebagainya.

Jenis material yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan pada struktur beton, diantaranya yang utama adalah:

1) Material yang berbahan dasar semen

Material yang berbahan dasar semen digunakan untuk pembuatan adukan mortar dan grout. Mortar yang dimodifikasi dengan menambahkan latex, merupakan material perbaikan yang sangat berguna untuk melapisi kembali permukaan yang rusak.

2) Material berbahan dasar epoxy resin

Material ini pada umumnya dibuat atas dasar epoxy resin yang berguna untuk injeksi serta pembuatan mortar yang dapat dicampur dengan epoxy dan diaplikasikan pada permukaan beton. Epoxy mortar terdiri dari resin *hardener* dan *filler* yang terdiri dari pasir halus, sedangkan epoxy beton terdiri dari resin, *hardener*, pasir halus dan agregat kasar ukuran kecil.

3) *Elastomeric Sealants*

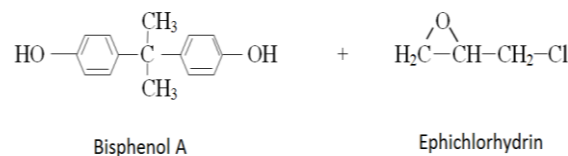
Dua tipe *elastomeric sealant* yang biasa dipakai yaitu *hot-applied*, yang biasanya merupakan campuran material yang *bituminous* dengan karet yang kompatibel dan *cold applied* yang dapat didasarkan atas berbagai material dan biasanya harus dicampur di lapangan.

4) Bituminous coating

Bituminous merupakan berbahan dasar aspal atau batu bara yang sering digunakan sebagai *waterproofing* pada beton atau untuk perlindungan terhadap pelapukan.

2.1. Epoxy

Epoxy atau *polyepoxide* sebuah *polimer epoxide thermosetting* yang bertambah baik bila dicampur dengan sebuah agen katalis atau pengeras. Polimer *thermosetting* hanya melebur pada saat pertama kali dipanaskan dan selanjutnya mengeras secara permanen pada saat didinginkan. Polimer adalah rantai berulang dari atom yang panjang, terbentuk dari pengikat yang berupa molekul identik yang disebut monomer. Resin epoxy diproduksi dari reaksi antara epichlorohydrin dan bisphenol-A yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ikatan kimia [bisphenol-A](#) dan [epichlorohydrin](#)

Resin jenis *bisphenol* disusun dari campuran *orthophtalic* dan *isophtalic anhydride* sebagai komponen asam jenuhnya. *Bisphenol* yang ditambahkan dalam formulanya membuat resin ini mempunyai ketahanan terhadap zat kimia seperti asam, klorin alkali, dan mempunyai ketahanan yang memuaskan terhadap panas. Ada banyak jenis resin yaitu *natural oil*, *alkyd*, *nitro cellulose*, *polyester*, *melamine*, *epoxy*, *polyurethane*, *silicone*, *fluorocarbon*, *venyl*, *cellulosic*, dll. Epoxy mortar memiliki kegunaan yaitu sebagai perbaikan dan penyambungan keretakan pada permukaan beton, sebagai lapisan acian pada struktur beton yang rapuh, perbaikan sillo pada beton, kerusakan pada pembesian beton, struktur beton terkena percikan kimia, dan bersifat *water proofing*.

Penelitian terdahulu Kang dan Hussin (2008) dengan penggunaan epoxy *grout* sebagai pekerjaan perbaikan struktural karena kekuatan tinggi, perekat yang baik dan ketersediaan luas. Penelitian ini menggunakan resin epoxy dan hardener sebagai pengikat, pasir dan *ground granulated blast furnace slag* (GGBS) sebagai pengisi untuk menghasilkan epoxy grout. Proporsi campuran dengan sifat yang baik, memenuhi persyaratan ASTM C 881 yang memiliki kekuatan optimal. Kuat tekan optimum yang diperoleh untuk grout epoxy dengan 5:1:11 yaitu epoxy:hardener:rasio *filler* di atas 70 MPa dapat dianggap sebagai kekuatan tinggi material perbaikan.

Penelitian Golestaneh, dkk. (2010) dengan pemanfaatan *silica powder* sebagai *filler* pada beton polimer yang meningkatkan sifat fisik dan kekuatan mekanik. Sifat mekanis dari beton polimer dengan variasi komposisi 100%, 150%, 200% *filler* dan resin 10%, 15%, 20% diteliti. Sampel dengan resin epoxy 15%-20%, *silica powder* halus 15%, *silica powder* ukuran menengah 25% dan *silica powder* kasar 60% memiliki kekuatan mekanik yang maksimal. Penelitian ini menghasilkan nilai kekuatan tekan 128,9 MPa, lentur 22,5 MPa dan tarik 16,2 MPa. Agregat dengan butiran halus menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih tinggi sebagai bahan pengisi karena memiliki pemadatan molekul yang tinggi.



Dalam program eksperimental oleh Lokuge dan Aravinthan (2010) membandingkan dua jenis resin yaitu vinylester dan resin epoxy yang dikombinasikan dengan fly ash dan pasir yang digunakan untuk membuat mortar beton polimer. Pengaruh resin sebagai pengikat, dan kandungan abu terbang pada kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik belah dan modulus elastisitas. Vinylester dan epoxy resin polimer berbasis pengisi ditemukan bahwa resin epoxy berbasis polimer beton dan vinylester berbasis beton polimer dapat mencapai kekuatan tekan 75MPa dan 113MPa.

Kumar, dkk. (2013) membahas evaluasi kekuatan lentur dari *epoxy* polimer yang menggunakan lumpur merah dan *fly ash* sebagai pengisi. Sifat mekanik beton polimer dengan variasi komposisi yang berbeda dari 8% dan 12% *fly ash*, 12% dan 25% lumpur merah, 30% dan 35% resin yang diteliti. *Silica fume* dalam persentase yang berbeda yaitu 10% dan 15% digunakan sebagai pengisi dalam beton polimer. Benda uji beton polimer dengan 35% resin, 25% *fly ash* dan 15% *silica fume* mengakibatkan kekuatan lentur maksimum karena mengandung pengisi yang baik untuk beton polimer. Agregat dengan butiran yang halus dapat mengakibatkan kekuatan mekanik yang tinggi karena butiran halus memiliki pemadatan molekul tinggi. Nilai kekuatan lentur yang didapat adalah 21,53 MPa.

2.2. Fly ash

Fly ash berasal dari sisa pembakaran batu bara atau limbah pembakaran batu bara yang ada pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton memiliki berbagai keunggulan, yaitu pada beton segar kehalusan dan bentuk partikel *fly ash* dapat meningkatkan *workability*. Selain ketersediaan yang cukup banyak dan tergolong limbah, *fly ash* ini mengandung zat kimia seperti Silika (SiO_2), lime (CaO), Alumina (Al_2O_3) yang merupakan bahan pembentuk semen Portland. Kandungan mineral fly ash berdasarkan standar ASTM volume 04.02 terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan mineral *fly ash* (ASTM Standard Volume 04.02)

Kandungan mineral <i>fly ash</i>				Kelas F	Kelas C
Silikon	Dioksida	(SiO_2)	+		
Alumunium	Oksida	(Al_2O_3)	+ Besi	70%	50%
	Oksida	(Fe_2O_3)),	minimal		
Sulfur	Trioksida	(SO_3),		5%	5%
		maksimal			
	Kalsium	Oksida	(CaO)	1%-12%	30%-40%

2.3. Pengujian Mortar

Pelaksanaan pada waktu mortar masih segar sangat diperlukan karena sifat pada beton segar sangat mempengaruhi kualitas mortar yang mengeras. Maka dari itu, sebelum mortar tersebut menjadi keras perlu dilakukan beberapa pengujian, agar pada waktu mortar sudah mengeras sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian terdiri dari pengujian *slump flow*, *setting time*, kuat tekan dan kuat lentur.

2.3.1. Pengujian *Slump Flow*

Pengukuran workabilitas pada mortar dilakukan dengan pemeriksaan meja getar atau *flow table* sesuai dengan ASTM C124. Hasil *pengujian* ini menunjukkan konsistensi mortar dengan mengukur tingkat penyebaran campuran ketika menerima sentakan pada *flow table* sebanyak 25 kali dalam 15 detik

2.3.2. *Setting Time*

Setting time adalah waktu yang dibutuhkan semen untuk mengeras, terhitung mulai bereaksi dengan air dan menjadi pasta semen hingga pasta semen cukup kaku untuk menahan tekanan. Berdasarkan ASTM C191-04 menetapkan bahwa *setting time* ada dua macam yaitu *Initial setting time* dan *final setting time*. Waktu ikat awal (*initial setting time*) yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen hingga hilangnya sifat plastis. Waktu ikat awal sangat penting untuk kontrol pekerjaan beton. Waktu ikat akhir (*final setting time*) yaitu waktu antara terbentuknya pasta semen hingga beton mengeras.

2.3.3. Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan sifat yang paling penting bagi mortar ataupun beton. Kuat tekan dimaksud sebagai kemampuan suatu material untuk menahan suatu beban tekan. Kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji mortar hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Berdasarkan standar pengujian ASTM C 1329 - 04 kuat tekan minimum mortar umur 28 hari sebesar 20 MPa. Perhitungan kekuatan tekan mortar berdasarkan ASTM C 109 M - 07 dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana:

f_c' = kuat tekan mortar (MPa)
 P = beban maksimum (N)
 A = luas permukaan (mm^2)

2.3.4. Kuat Lentur

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu yang diberikan padanya sampai balok beton patah. Pengujian kuat lentur mengacu pada ASTM C 293 - 02 *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)* dimana titik tumpuan terletak di 2,5 cm dari ujung benda uji. Beban terletak di tengah bentang antara tumpuan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat lentur dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (2)$$

dimana:

σ = kuat lentur balok pada umur tertentu (MPa)
 P = gaya tekan (N)
 L = panjang bentang antar 2 tumpuan (mm)
 b = lebar balok (mm)
 h = tinggi balok (mm)

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengujian yang dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya. Persiapan alat terdiri dari cetakan, alat pengujian dan mesin aduk. Persiapan bahan yang terdiri dari *fly ash*, agregat halus, *epoxy* dan *hardener*. Peralatan yang digunakan dalam penelitian analisa campuran menggunakan *epoxy-fly ash* sebagai bahan retrofit ini meliputi cetakan kubus ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm digunakan untuk mencetak benda uji, mesin uji kuat tekan untuk mortar digunakan sebagai pembacaan kuat tekan yang diperoleh, cetakan benda uji untuk kuat lentur dengan ukuran 20 cm x 5 cm x 5 cm, alat uji *setting time*, mesin pengaduk, alat *flow table*, timbangan. Campuran dibuat dengan komposisi campuran yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Campuran

No	Pasir		Epoxy		Hardener		Fly ash	
	%	gram	%	gram	%	gram	%	gram
M1	45	150,36	30	49,09	20	27,94	5	15,81
M2	45	150,36	25	40,91	20	27,94	10	31,63
M3	45	150,36	20	32,73	20	27,94	15	47,44
M4	45	150,36	15	24,54	20	27,94	20	63,25

3.1 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus bertujuan untuk mengetahui sifat fisis atau karakteristik dari agregat halus yang digunakan untuk memperoleh variabel yang diperlukan dalam perhitungan campuran. Prosedur pengujian material mengikuti standar ASTM. Pengujian sifat fisis yang akan dilakukan adalah pengujian analisa saringan agregat halus, pengujian *specific gravity* dan penyerapan pasir, pengujian kadar air pasir, pengujian berat volume pasir, pengujian kadar organik pasir, pengujian kadar lumpur pasir.

3.2 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji terdiri dari pengujian mortar segar dan mortar keras. Pengujian *setting time* dan *slump flow* merupakan pengujian mortar segar. Pengujian mortar keras terdiri dari uji kuat tekan dan kuat lentur. Berikut tahapan pengujian yaitu *setting time*, *slump flow*, kuat tekan dan kuat lentur.

3.2.1 Pengujian *Slump flow*

Setelah selesai pengadukan, hasil adukan diisi kedalam cetakan dalam dua lapisan diratakan dengan alat pemadat yang ditusuk sebanyak 20 kali. Gerakan *flow table* dengan cara memutar tuas penggerak sebanyak 25 kali ketukan dalam waktu 15 detik. Mortar diatas meja akan mengalir melebar sampai diameter tertentu. Konsistensi mortar ditunjukkan oleh terjadinya aliran (*flow*) setelah di beri ketukan. Setelah diberi ketukan ukur diameter mortar yang melebar diatas alat *flow table*.

3.2.2. Pengujian *Setting Time*

Uji waktu ikat segera dilakukan setelah pengadukan dan sebelum terjadi penguapan. Setelah selesai pengadukan, isi cetakan dengan mortar dalam dua lapisan dan padatkan dengan alat pemadat yang ditusuk sebanyak 20 tusukan. Tahapan dalam percobaan *setting time* pertama letakkan cetakan berisi mortar di bawah jarum sehingga ujung jarum bersinggungan

dengan permukaan mortar, atur jarum penunjuk skala pada titik nol, lepaskan bebas *plunyer* dan jarum menembus mortar, pengujian penembusan jarum mortar dilakukan setiap 15 menit sekali, sampai pada saat jarum tidak sampai menyentuh dasar atau alas cetakan, kemudian dilakukan pada setiap 10 menit, sampai pada saat tercapai penembusan sedalam 10 mm atau kurang.

3.2.3. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mortar digunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm. Tahapan pengujian kuat tekan dilakukan dengan cara sebagai berikut yaitu menimbang berat benda uji, kemudian benda uji diberi kode sesuai dengan variasi agar tidak tertukar, benda uji diletakkan di mesin tekan secara simetris, mesin uji tekan dinyalakan dengan kecepatan pembebanan konstan, pembebanan dihentikan saat benda uji rusak, catat beban maksimumnya.

3.2.4. Pengujian Kuat Lentur

Benda uji kuat lentur menggunakan ukuran 50 mm × 50 mm × 200 mm. Tahapan pengujian kuat lentur yaitu balok untuk uji lentur diukur dan diberi garis pada kedua tepinya sebesar 2,5 cm sebagai titik tumpuan, pengujian lentur menggunakan mesin uji lentur balok dengan meletakkan benda uji balok ke alat penguji, letakkan benda uji diatas tumpuan sesuai dengan posisi yang telah ditentukan, hidupkan mesin dan secara perlahan alat menekan benda uji balok, catat hasil uji lentur balok untuk tiap benda ujinya dan hitung lentur balok dengan Persamaan 2.

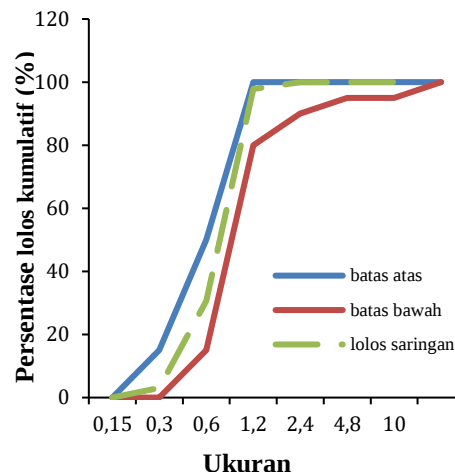
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Penelitian sifat mekanik campuran epoxy-*fly ash* sebagai bahan retrofit menggunakan *fly ash* dan agregat halus sebagai *filler* yang terlebih dahulu diuji berdasarkan ASTM. Data hasil pengujian material agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengujian analisa saringan untuk agregat halus dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 3. Data hasil pengujian material

Nama Pengujian	Satuan	Hasil
Kadar lumpur	(%)	1,64
<i>Bulk specific gravity</i> kondisi kering	-	2,42
<i>Apparent specific gravity</i>	-	2,46
<i>Bulk specific gravity</i> kondisi SSD	-	2,44
Persentase absorpsi air	(%)	0,55
Berat volume padat	(Kg/L)	4,566
Berat volume gembur	(Kg/L)	4,181
Modulus kehalusan	-	1,68
Zat organik	-	no 3



Gambar 2. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Gradasi campuran berada di dalam kurva standar gradasi zona VI dengan modulus kehalusan 1,68. Material *fly ash* diuji terhadap kandungan kimia yang terdapat di dalam *fly ash* yang berasal dari PLTU Tanjung Enim Sumatera Selatan. . Berdasarkan ASTM *fly ash* termasuk tipe F karna memiliki senyawa CaO diantara 1%-12% yaitu 3,75% dan SO₃ kurang dari 5% yaitu 0,078% dan jumlah SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ lebih dari 70% yaitu 87,9%. Hasil pengujian *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 4.

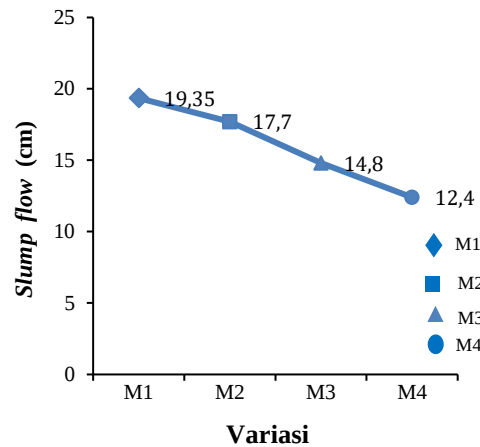


Tabel 4. Data hasil pengujian *fly ash* (Laboratorium PT. Semen Baturaja Palembang)

o	Senyawa Kimia	Persentase (%)
	SiO ₂	82.04
	Al ₂ O ₃	3.7
	Fe ₂ O ₃	1.8
	CaO	3.75
	MgO	0.095
	SO ₃	0.078
	LOI	3.5
	IR	78.97
	F.CaO	-

4.2. Hasil Pengujian *Slump Flow*

Pengujian *slump flow* dilakukan dua kali pengambilan data setiap variasi campuran dan kemudian dirata-ratakan. Berikut hasil pengujian *slump flow* bisa dilihat pada Gambar 3.

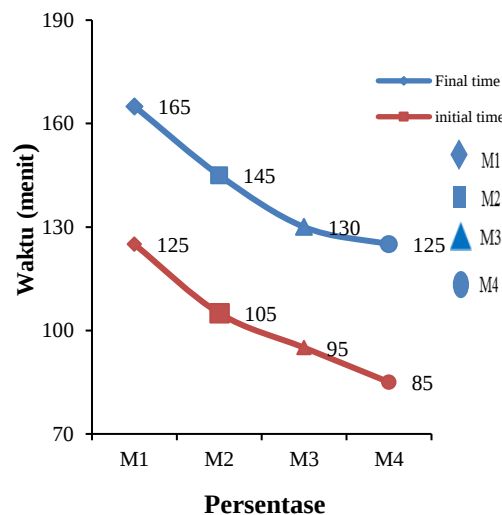


Gambar 3. Hasil pengujian *slump flow*

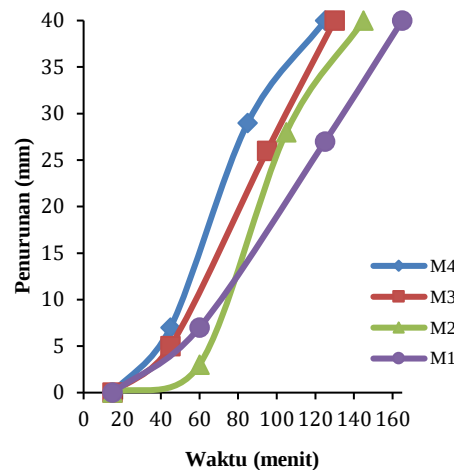
Semakin banyak persentase *fly ash* dapat mengurangi nilai *flow* suatu campuran. Sebagai contoh dengan variasi M1 yaitu 30% epoxy-5% *fly ash* menghasilkan nilai slump 19,35 cm lebih besar jika dibandingkan dengan campuran M4 yaitu 15% epoxy-20% *fly ash* menghasilkan nilai slump 12,4 cm.

4.3. Hasil Pengujian *Setting time*

Setiap rancangan campuran dilakukan dua kali pengambilan data kemudian dirata-ratakan. Pengujian mengacu pada standar yang syaratkan pada ASTM C191. Hasil pengujian *setting time* dengan campuran variasi dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil pengujian *setting time* dengan hasil bacaan penurunan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Hasil pengujian *setting time*

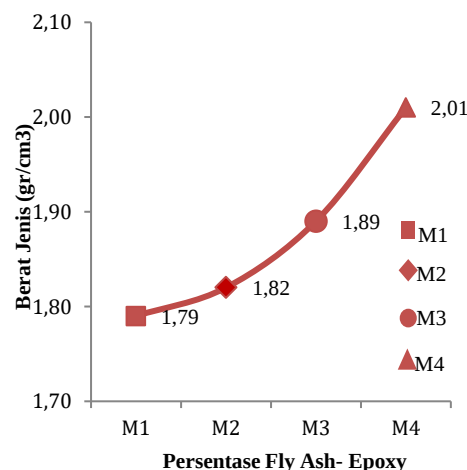


Gambar 5. Hasil pengujian *setting time* dan bacaan penurunan

Variasi M1 dengan persentase 30% epoxy dan 5% *fly ash* memerlukan 165 menit *final time* dan 125 menit *initial time*. Hasil ini lebih lama jika dibandingkan dengan campuran M4 dengan persentase 15% epoxy dan 20% *fly ash* memerlukan waktu 85 menit untuk *initial time* dan 125 menit untuk *final time*. Waktu *initial time* dan *final time* pada komposisi M4 lebih cepat daripada mortar normal. *Setting time* mortar normal berdasarkan ASTM C 1329-04 *final time* 1440 menit dan 90 menit untuk waktu *initial time*. Semakin banyak kandungan epoxy dapat menambah waktu ikat suatu campuran.

4.4. Berat Jenis

Berat jenis diuji berdasarkan berat benda uji berbanding volume benda uji kuat tekan dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Berat jenis yang didapat dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.

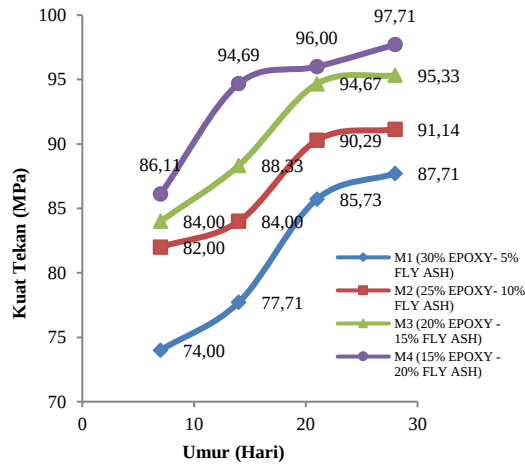


Gambar 6. Hasil pengujian berat jenis

Berat jenis terbesar dihasilkan oleh komposisi M4 dengan 15% epoxy dan 20% *fly ash* yaitu 2,01 gr/cm³. Berat jenis terendah dihasilkan oleh komposisi M1 dengan 30% epoxy dan 5% *fly ash* yaitu 1,79 gr/cm³. Berat jenis yang didapat ini lebih kecil daripada berat jenis rata-rata mortar normal yaitu 2,2 gr/cm³. Penambahan *fly ash* dan epoxy dapat mempengaruhi berat jenis. Semakin banyak kadar persentase *fly ash* maka semakin besar berat jenis yang didapat.

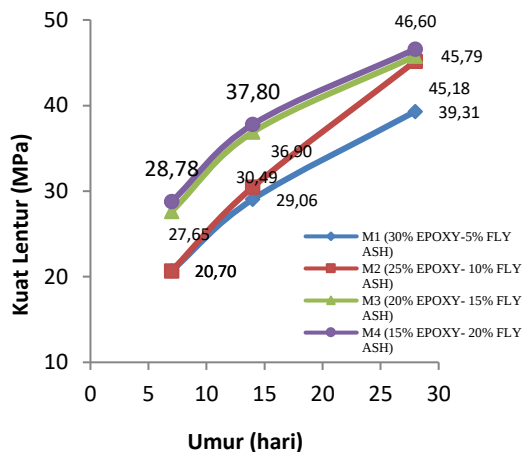
4.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan dan kuat lentur

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, 21, dan 28 hari dengan menggunakan cetakan kubus ukuran 5 cm x 5cm x 5cm. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 7. hasil pengujian kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Hasil pengujian kuat tekan terhadap umur

Kuat tekan maksimum dihasilkan dari variasi M4 dengan 15% epoxy-20% *fly ash* pada umur 28 hari yaitu 97,71 MPa. Kuat tekan terendah didapat dari variasi M1 dengan 30% epoxy-5% *fly ash* yaitu 87,71 MPa. Nilai ini melampaui kuat tekan mortar normal berdasarkan ASTM C 1329-04 sebesar 20 MPa.

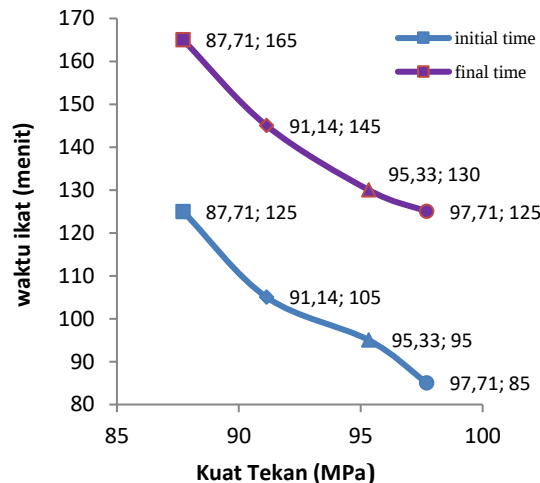


Gambar 8. Hasil pengujian kuat lentur terhadap umur

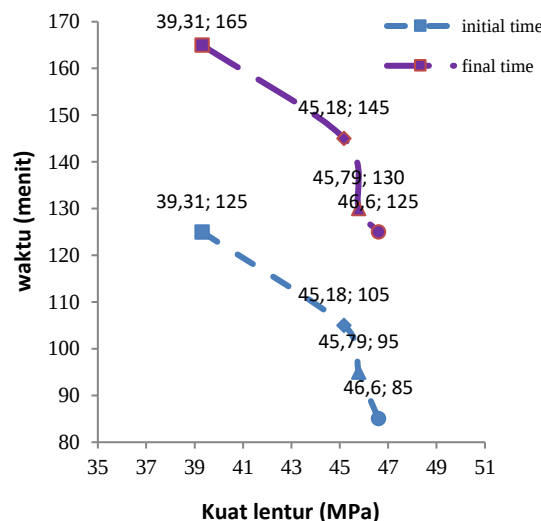
Pengujian kuat lentur dapat dilihat bahwa kuat lentur maksimum dihasilkan dari variasi M4 dengan 15% epoxy- 20% *fly ash* pada umur 28 hari yaitu 46,60 MPa. Kuat lentur terendah didapat dari variasi M1 dengan 30% epoxy-5% *fly ash* yaitu 39,31 MPa. Nilai ini melampaui kuat lentur mortar normal berdasarkan ASTM C 1329-04 untuk 28 hari sebesar 0,8 MPa. Semakin meningkat persentase *fly ash* dalam campuran dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur.

4.6. Hubungan Kuat Tekan-*Setting Time* dan Kuat Lentur-*Setting Time*

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, kuat lentur dan *setting time* dapat dibuat grafik hubungan. Grafik hubungan antara kuat tekan dan *setting time* dapat dilihat pada Gambar 9. Grafik hubungan kuat lentur dan *setting time* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Hubungan kuat tekan-*setting time*

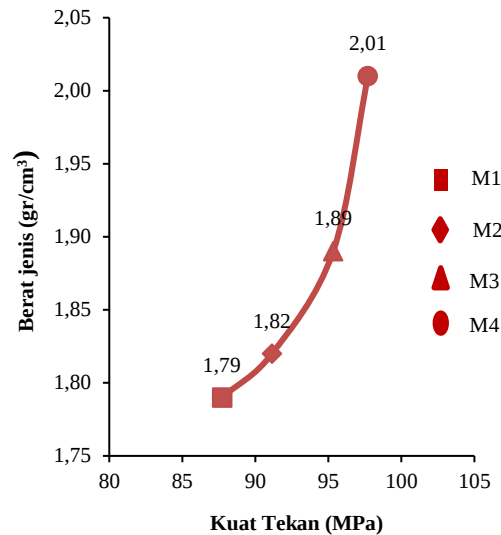


Gambar 10. Hubungan kuat lentur-*setting time*

Grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin cepat *setting time* dapat menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur yang optimal. Variasi M4 memiliki waktu *initial time* dan *final time* tercepat yaitu 85 menit dan 125 menit dengan menghasilkan kuat lentur dan kuat tekan yang besar sebesar 97,71 MPa dan 46,6 MPa. Variasi M1 memiliki waktu *initial time* dan *final time* yang lama yaitu 85 menit dan 125 menit menghasilkan kuat tekan dan kuat lentur lebih kecil dibanding komposisi M4 yaitu sebesar 87,71 MPa dan 39,31 MPa.

4.7. Kuat Tekan dan Berat Jenis

Grafik hubungan antara kuat tekan dan berat jenis dapat dilihat pada Gambar 11. Grafik ini menghubungkan antara kuat tekan dengan berat jenis pada umur 28 hari.

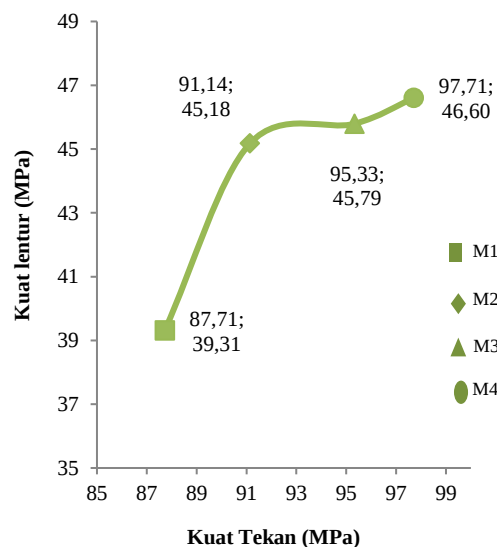


Gambar 11. Grafik hubungan antara kuat tekan dan berat jenis

Grafik hubungan antara kuat tekan dan berat jenis menunjukkan kuat tekan 87,71 MPa dengan komposisi variasi M1 yang memiliki kadar persentase *fly ash* sebesar 5% menghasilkan berat jenis 1,79 gr/cm³. Pada komposisi M4 yang memiliki kadar persentase *fly ash* sebesar 20% memiliki berat jenis 2,01 gr/cm³ menghasilkan kuat tekan sebesar 97,71 MPa. Berat jenis yang didapat ini lebih kecil daripada berat jenis rata-rata mortar normal yaitu 2,2 gr/cm³. Berat jenis yang lebih kecil ini dapat menghasilkan kuat tekan yang besar yaitu 97,71 MPa.

4.8. Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Grafik hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur untuk umur 7,14, dan 28 hari dapat dilihat pada Gambar 12. Semakin tinggi kuat tekan maka semakin tinggi kuat lentur yang didapat.

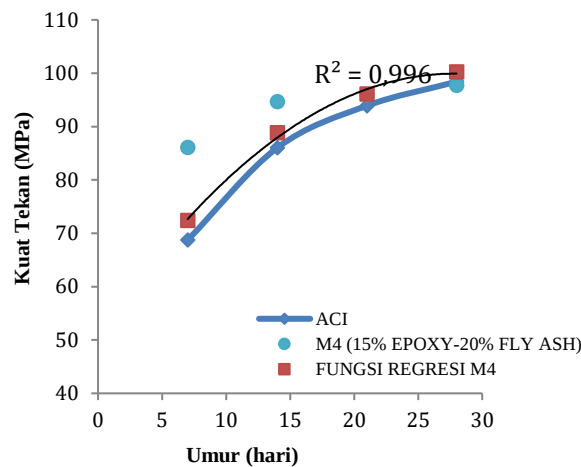


Gambar 12. Grafik hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur

4.9. Analisa Regresi Hasil Uji Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Analisa regresi hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur campuran epoxy-*fly ash* untuk mengetahui keakuratan data yang didapat. Mencari persamaan fungsi regresi dengan cara uji

coba yaitu mencari nilai yang mendekati persamaan ACI 209.2R-08. Berdasarkan penelitian yang dilakukan analisa regresi hasil uji kuat tekan yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Analisa regresi kuat tekan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang Sifat mekanik campuran epoxy-*fly ash* sebagai bahan retrofit adalah sebagai berikut:

1. Nilai *slump flow* pada setiap variasi secara umum menunjukkan bahwa nilai *slump flow* meningkat dengan penambahan epoxy dan berkurang dengan penambahan *fly ash*. Nilai *slump flow* maksimum sebesar 19,35 cm yaitu pada campuran dengan kadar 5% *fly ash* dan 30% epoxy. Nilai *slump flow* yang paling kecil sebesar 12,4 cm diperoleh pada campuran dengan variasi 20% *fly ash* dan 15% epoxy.
2. Peran presentase kadar epoxy dan *fly ash* sangat berpengaruh pada waktu ikat. Semakin banyak kadar epoxy dapat memperlama waktu ikat. Variasi M1 dengan persentase 30% epoxy dan 5% *fly ash* memerlukan 165 menit untuk *final time* dan 125 menit untuk *initial time*. Hasil ini lebih lama jika dibandingkan dengan campuran M4 dengan persentase 15% epoxy dan 20% *fly ash* yang memerlukan waktu 85 menit untuk *initial time* dan 125 menit untuk *final time* yang menghasilkan kuat tekan sebesar 97,71 MPa. Waktu *initial time* dan *final time* pada komposisi M4 lebih cepat daripada mortar normal. *Setting time* mortar normal berdasarkan ASTM C 1329-04, 1440 menit untuk *final time* dan 90 menit untuk waktu *initial time*. Kelebihan dari campuran epoxy-*fly ash* dapat menghasilkan *Setting time* yang lebih cepat dengan menghasilkan kuat tekan yang optimum.
3. Penambahan *fly ash* mempengaruhi berat jenis. Semakin banyak kadar persentase *fly ash* maka semakin besar berat jenis yang didapat. Berat jenis terbesar dihasilkan oleh komposisi M4 dengan 15% epoxy dan 20% *fly ash* yaitu 2,01 gr/cm³. Berat jenis terendah dihasilkan oleh komposisi M1 dengan 30% epoxy dan 5% *fly ash* yaitu 1,79 gr/cm³. Berat jenis yang didapat ini lebih kecil daripada berat jenis rata-rata mortar normal yaitu 2,2 gr/cm³. Berat jenis yang lebih kecil ini dapat menghasilkan kuat tekan yang besar yaitu 97,71 MPa.



4. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat bahwa kuat tekan maksimum dihasilkan dari komposisi M4 dengan 15% epoxy dan 20% *fly ash* pada umur 28 hari yaitu 97,71 MPa.. Kuat tekan terendah didapat dari komposisi M1 dengan 30% epoxy dan 5% *fly ash* yaitu 87,71 MPa. Nilai ini melampaui kuat tekan mortar normal berdasarkan ASTM C 1329-04 sebesar 20 MPa. Persentase selisih perbedaan kuat tekan mortar normal dengan campuran epoxy-*fly ash* sekitar 79,53%. Kuat lentur maksimum dihasilkan dari komposisi M4 dengan 15% epoxy dan 20% *fly ash* pada umur 28 hari yaitu 46,60 MPa. Kuat lentur terendah didapat dari komposisi M1 dengan 30% epoxy dan 5% *fly ash* yaitu 39,31 MPa. Semakin meningkat persentase *fly ash* dalam campuran dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur. Ini dikarenakan *fly ash* memiliki pemadatan molekul yang tinggi sebagai *filler*. Kesimpulan yang didapat dari pengujian kuat tekan dan kuat lentur bahwa komposisi optimum untuk menghasilkan sifat mekanik yang dapat digunakan sebagai bahan retrofit adalah komposisi M4 dengan kadar persentase 15% epoxy dan 20% *fly ash*.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diberi saran, antara lain:

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar dapat mencoba pengujian *durability* terhadap campuran epoxy-*fly ash*.
2. Mencoba dengan *filler* yang lebih halus dari butiran *fly ash* dan pasir yang telah di uji.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Abbasnia, R., Khanzadi, M. & Ahmadi, J., 2009. Mortar mix proportions and free shrinkage effect on bond strength between substrate and repair concrete., (type II), pp.971-976.
- 2) ASTM, 2004a. Mortar Cement 1. ASTM International, West Conshohocken, pp.3-6.
- 3) ASTM C 293-02, 2002. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with. , 04.02(April 2002), pp.1-4.
- 4) ASTM, 2004. Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle 1. *ASTM International*.
- 5) Bhuvaneshwari, B. et al., Functional enhancement of epoxy polymer nanocomposite: A nano blended binder for retrofitting of bridges. , pp.36-42.
- 6) Dubey, S.K. & Kute, S., 2014. An experimental investigation on the ultimate strength of epoxy-repaired braced partial infilled RC frames. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 6(1), p.3.
- 7) Denvid, L., 2011. Moisture-induced Debonding in Concrete-epoxy Interface. , 19(3), pp.33-38.
- 8) Edward G, Navy., 2003. Reinforced Concrete A Fundamental Approach Fifth Edition. Prentice Hall. New Jersey.
- 9) El-hawary, M.M. & Abdul-jaleel, A., 2004. Corrosion and Durability of Polymer Modified.
- 10) Golestaneh, M. et al., 2010. Evaluation of Mechanical Strength of Epoxy Polymer Concrete with Silica Powder as Filler. *Applied Sciences*, 9(2), pp.216-220.
- 11) Isneini, M., Kerusakan dan perkuatan struktur beton bertulang. , (1).
- 12) Jupiter, T., Rashidi, Hj, A. & Idawati, I., 2010. Effect of seawater on the properties of Epoxy Modified Concrete T., 1(2).
- 13) Kang, L.S. & Hussin, M.W., 2008. Effect Of Filler On Strength Development Of Epoxy Grout., 20(1), pp.38-46.



- 14) Kumar, A., Singh Gurpreet & Bala Niraj, 2013. Evaluation of Flexural Strength of Epoxy Polymer Concrete with Red Mud and., 1, pp.1799-1803.
- 15) Lim siong Kang, Tung-Chai Ling, M.W.H., 2011. GGBFS As Potential Filler In Polyester Grout: Compressive Strength. , 108, pp.120-127.
- 16) Lokuge, W.P. & Aravinthan, T., 2010. Mechanical properties of polymer concrete with different types of filler. *J. Mater. Civ. Eng.*, 22(7), pp.699-701.
- 17) Raghavendra, V., 2014. Epoxy Resin Vs MBC Binder for GFRP Retrofit Structures., 3(7), pp.185-189.
- 18) Saleh, N.A. & Al-jebory, M.B., 2014. Evaluating the mechanical properties of Epoxy resin with Fly ash and Silica fume as fillers., 30.
- 19) Setyaningsih, R., 2010. Repair Mortar Dengan Bahan Tambah (Evaluation of Delamination or Crack of Repair Mortar With Polymer).
- 20) Sivakumar.M.V.N, 2010. Effect of Polymer modification on mechanical and structural properties of concrete - An experimental investigation. , 1(4), pp.732-740.
- 21) Soumya Kumari.S, K.Natarajan, M.P.Manjunath, Y.B., 2014. Mechanical properties of polyester mortar. , pp.4-9.
- 22) Syukroni, A., 2013. *Sifat Fisik dan Mekanik Mortar Polimer dengan Variasi Resin 5%; 15%; 20% dan 25%*, Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gajah Mada.
- 23) Vijaykumar, H.K., Bilagi, N.A. & Maaz, K., 2014. Analysis of the Flexure Behavior and Compressive Strength of Fly Ash Core Sandwiched Composite Material., 4(7), pp.41-48.