

Pembuatan Mortar Polimer Nanokomposit Sebagai Bahan Perbaikan

Zuul Fitriana Umari¹⁾, Ayu Marlina²⁾

^{1), 2)} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tridinanti Palembang
Jalan Kapten Marzuki No.2446, 20 Ilir D. III, Ilir Timur. I Kota Palembang,
Sumatera Selatan 30129, Indonesia.
Email : zuulfitrianaumari@gmail.com¹⁾, ayumarlina.utp@gmail.com²⁾

ABSTRACT

Construction in the field can often be encountered with various problems, one of which is damage to concrete structures or non-concrete structures that can affect the weakening of a structure. Many developed countries have carried out polymer mortar development efforts. Until now, the development of polymer mortar is still ongoing to reduce the use of cement and anticipate global warming. One of them is by utilizing polymer as an adhesive substitute for cement so that a strong mortar is produced in a shorter time. This research combines 40%-55% epoxy resin and hardener, 40% fine aggregate, 5%-20% Fly Ash and 1%-5% nanosilica. The results obtained show that the initial bond setting time is 70 minutes and the final bond is 110 minutes. This result is faster than normal mortar. The more epoxy used, the longer the bonding time. For Compressive strength test maximum Theobtained were results 62 MPa with a mixture of 38% epoxy and hardener, aggregate 40% fine, 20% fly ash and 2% nanosilica. For specific gravity, the result is 1,760 Kg/M³. Aggregates and fly ash with fine grains can produce higher mechanical strength as fillers coupled with nanosilica which can increase strength, the more nanosilica used , the strength of the nanocomposite material increases to appoint critical and then decreases.

Keywords: Polymer Concrete, Fly Ash and Nanocomposites

ABSTRAK

Pembangunan konstruksi pada lapangan sering sekali dapat kita jumpai beragam permasalahan, salah satunya adalah kerusakan pada struktur beton ataupun non struktur beton yang bisa mempengaruhi melemahnya suatu struktur. Usaha pengembangan mortar polimer telah banyak dilakukan oleh negara maju. Sampai sekarang pengembangan mortar polimer masih banyak berlangsung untuk mengurangi penggunaan semen dan mengantisipasi pemanasan global. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan polimer sebagai bahan perekat pengganti semen sehingga dihasilkan mortar yang kuat dalam waktu yang lebih singkat. Penelitian ini menggabungkan epoxy resin dan hardener sebanyak 40%-55%, agregat halus 40%, Fly Ash 5%-20% dan nanosilika 1%-5%. Hasil yang didapat menunjukkan untuk nilai setting time ikatan awal selama 70 menit dan ikatan akhir 110 menit hasil ini lebih cepat dibandingkan dengan mortar normal semakin banyak epoxy yang digunakan maka waktu ikat semakin lama. Untuk pengujian kuat tekan maksimum didapatkan hasil 62 MPa dengan campuran epoxy dan hardener 38%, agregat halus 40%, fly Ash 20% dan nanosilika 2%. Untuk berat jenis didapatkan hasil 1.760 Kg/M³. Agregat dan fly Ash dengan butiran halus dapat menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih tinggi sebagai bahan pengisi ditambah dengan nanosilika yang dapat meningkatkan kekuatan, semakin banyak nanosilika yang digunakan maka kekuatan dari material nanokomposit semakin bertambah sampai titik keritis dan kemudian terjadi penurunan.

Kata Kunci : Beton Polimer, Fly Ash dan Nanokomposit

1. Pendahuluan

Material polimer dikembangkan karena memiliki keunggulan diantaranya memiliki berat yang ringan, mudah pengerjaan, tahan terhadap panas dan tahan terhadap serangan mikroorganisme sehingga mengurangi perawatan. Material polimer memiliki daya lekat yang lebih tinggi dibandingkan dengan semen (Wells and Sonnier, 2018).

Konstruksi beton mempunyai kuat tekan relative lebih tinggi tetapi untuk kuat tarik cenderung lebih rendah dan memiliki sifat getas yang bisa menyebabkan terjadinya retakan pada beton. Faktor-faktor yang mempengaruhi kerusakan pada beton biasanya diakibatkan oleh mutu beton yang tidak sesuai, adanya penambahan beban, kebakaran, gempa dan usia bangunan. Jenis jeis kerusakan yang sering terjadi pada beton antara lain:

a. Retak (Crack)

Retak struktur arah vertical biasanya disebabkan oleh beban yang melebihi kemampuan balok. Sedangkan retak geser memiliki pola diagonal.

b. Pengelupasan beton

Kerusakan ini disebabkan oleh campuran beton yang kurang homogeny, faktor umur, kebakaran yang menyebabkan ageregat yang mengandung silica pecah.

c. Patah

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.

d. Keropos

Kerusakan yang disebabkan karena umur beton yang terlalu tua, pengerjaan beton yang kurang baik, agregat terlalu kasar, kurangnya butiran halus termasuk semen, faktor air semen yang tidak tepat, pemadatan yang tidak sempurna karena rapatnya tulangan, pasta semen keluar dari cetakan yang tidak rapat.

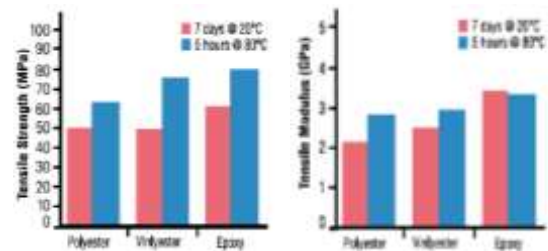
e. Delaminasi

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.

Dari berbagai banyak resin dipasaran ada tiga jenis yang sering digunakan antara lain Poliester, vinil ester dan epoxy. Pada penelitian ini resin yang akan digunakan menggunakan jenis epoxy resin dikarenakan epoxy resin memiliki kekuatan dan kekakuan relative lebih besar dibandingkan dengan jenis lainnya terlihat pada Gambar 1.

Epoxy resin adalah epoxy oligomer, yang dapat membentuk jaringan tiga dimensi bahan termoseting ketika bereaksi dengan hardener (Ma *et al.*, 2018). Epoxy resin didefinisikan sebagai pra-polimer

bermolekul rendah yang mengandung lebih dari satu gugus epoxide.



Gambar 1. Perbandingan dari setiap resin (Nuryadin and Khairurrijal, 2008))

Epoxy merupakan salah satu jenis termoset engineering yang tahan terhadap panas dan listrik, memiliki kekuatan mekanik yang lebih tinggi dan tahan terhadap korosi (Duemichen *et al.*, 2015). Penelitian yang dilakukan oleh (Jin and Park, 2009) dengan membuat komosit epoxy resin dan nanokalsit menyatakan dengan penambahan nanokalsit dapat meningkatkan stabilitas termal bahan komposit. Penelitian (Zheng, Zheng and Ning, 2003) telah berhasil membuat campuran nanokomposit epoxy resin dengan filer nanosilika yang dapat memperbaiki sifat beton polimer, dengan penambahan material nanosilika dapat meningkatkan kekuatan impak dari nanokomposit tersebut.

Hardener sebagai bahan tambah agar terjadinya reaksi dan proses pengeringan. Persentase hardener dapat memberikan sifat mekanik yang berbeda pada epoxy resin, jika persentase hardener sedikit maka viskositas epoxy resin berkurang dan proses pengerasan lebih lama. Persentase hardener berlebihan berdampak pada kekerasan epoxy resin yang menjadi getas dan kekuatannya berkurang (Hakiki *et al.*, 2015).

Nanosilika berfungsi sebagai pengisi dan bisa meningkatkan kepadatan mikro dan activator dalam reaksi hidrasi. Nanosilika merupakan bahan unik yang dapat meningkatkan kuat tekan yang lebih tinggi dari material sebelumnya (Nasution, Imran and Abdullah, 2015). Senyawa kimia dengan rumus molekul SiO_2 yang pada umumnya ditemukan didalam pasir silica atau quartzite, nabati dan sintesis Kristal.

Agregat dengan butiran halus menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih tinggi sebagai bahan pengisi karena memiliki pemadatan molekul yang tinggi (Golestaneh *et al.*, 2010).

Fly ash berasal dari sisa pembakaran batu bara atau limbah pembakaran batu bara yang ada pada corong pembakaran. Fly ash merupakan material substitusi semen yang paling banyak digunakan dalam campuran beton. Semakin banyak substitusi Fly ash terhadap semen akan menurunkan kuat tekan. Penggunaan fly ash berkisar 10%-20% terhadap semen. Penggunaan fly ash dalam campuran beton memiliki berbagai keunggulan, yaitu pada beton segar kehalusan dan bentuk partikel fly ash dapat meningkatkan workability dan mengurangi

terjadinya bleeding ataupun segregasi. Pada beton keras dapat meningkatkan durability beton, meningkatkan kepadatan (density) beton dan mengurangi terjadinya penyusutan beton.

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

Kandungan mineral fly ash	Kelas F	Kelas C
Silikon Dioksida (SiO ₂) + Alumunium Oksida (Al ₂ O ₃) + Besi Oksida (Fe ₂ O ₃), minimal	70%	50%
Sulfur Trioksida (SO ₃), maksimal	5%	5%
Kalsium Oksida (CaO)	1%-12%	30%-40%

Menurut ASTM, terdapat dua jenis fly ash, kelas C dan kelas F. Kelas C dihasilkan oleh jenis batu bara lignite dan subbituminous, sedangkan kelas F dihasilkan oleh batu bara jenis antrasit dan bituminous. Kelas C memiliki kadar kapur yang tinggi. Kandungan mineral fly ash berdasarkan standar ASTM volume 04.02 terlihat pada Tabel 1

Jenis fly ash dapat ditentukan dari warna fly ash yang bervariasi dari coklat muda sampai abu-abu dan hitam, tergantung pada kadar karbon yang tidak terbakar dalam fly ash. Semakin muda warna fly ash, semakin rendah kadar karbonnya. Fly ash yang mengandung karbon rendah cocok digunakan sebagai bahan semen, dan sebaliknya yang berkadar karbon tinggi cocok untuk bahan pengisi (filler) dalam industri polymer atau karet.

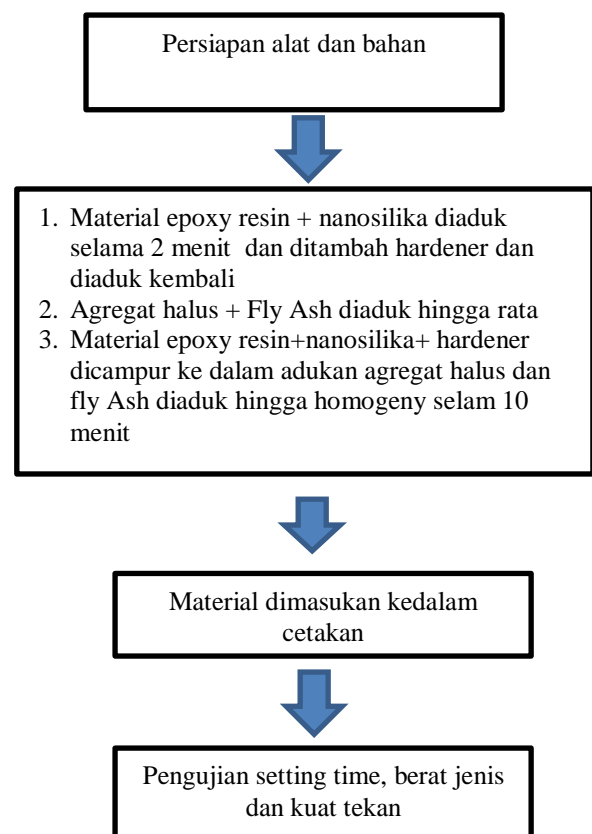
Fly ash dapat dibedakan menjadi tiga jenis (ACI Manual of Concrete Practice 1993 parts 1 226.3R-3), yaitu:

- Kelas C fly ash yang mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara. Senyawa lain yang terkandung didalamnya terdiri dari SiO₂ (30-50%), Al₂O₃ (17-20%), Fe₂O₃, MgO, Na₂O dan sedikit K₂O mempunyai specific gravity 2,31 - 2,86. Mempunyai sifat pozzolan, tetapi juga langsung bereaksi dengan air untuk membentuk CSH (CaO.SiO₂.2H₂O).
- Kelas F fly ash yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara. senyawa lain yang terkandung didalamnya SiO₂ (30- 50%), Al₂O₃ (45-60%), MgO, K₂O dan sedikit Na₂O mempunyai specific gravity 2,15 - 2,45 bersifat seperti pozzolan, tidak bisa mengendap karena kandungan CaO yang kecil.
- Kelas N Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chertz dan shales, tuff dan abu vulkanik yang mana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui peoses pembakaran. selain itu, juga mempunyai sifat pozzolan yang baik

Dari penjelasan diatas dengan menggabungkan material epoxy resin, agregat halus, Fly Ash dan nanosilika dapat menghasilkan material baru yang memiliki sifat kuat dan ringan. Penelitian ini menyelidiki sifat mekanik seperti setting time, berat jenis dan kuat tekan.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simple dengan mencampurkan material dan di mixing yang dilakukan dilaboratorium bahan dan beton di jurusan teknik sipil. Persiapan alat terdiri dari cetakan, alat pengujian dan mesin aduk. Persiapan bahan terdiri agregat halus, epoxy resin, nanosilika dan fly Ash. peralatan yang digunakan cetakan kubus 5 cm digunakan untuk mencetak benda uji, mesin uji kuat tekan, alat pengaduk, alat uji setting time, timbangan. Diagram alir proses pembuatan material mortar polimer nanokomposit



Gambar 2. Diagram alir pembentukan material.

Pengujian yang dilakukan pada mortar polimer nanokomposit yaitu pengujian setting time, berat jenis dan kuat tekan. Untuk memudahkan pembacaan material digunakan kode sebagai berikut

- P : polimer tanpa nanokomposit
- PN : polimer nanokomposit

3. Pembahasan

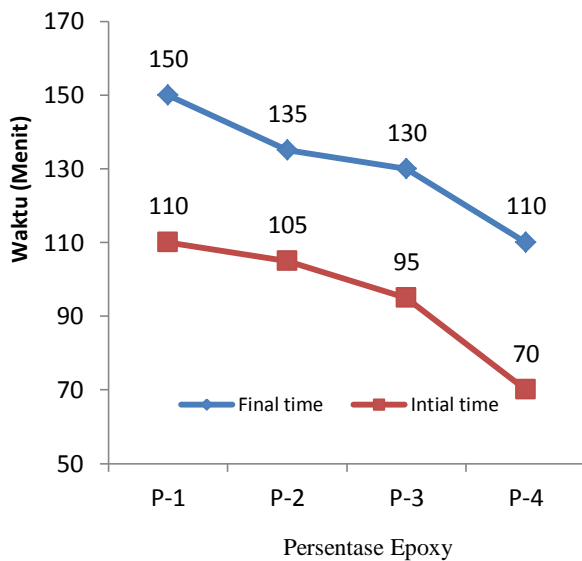
Dalam penelitian ini agregat halus yang digunakan berasal dari tanjung raja hasil saringan memenuhi batas gradasi yang telah disertakan oleh ASTM C 33 dengan kadar lumpur pada agregat halus 2,927% lebih kecil dari standar yang telah disyaratkan yaitu $\leq 5\%$ untuk hasil pengujian terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian Agregat halus

Pengujian	Spesifikasi	Hasil
Modulus halus butiran	3	2,381
Berat jenis jenuh kering		2,273
Berat jenis semu		2,354
Persentase penyerapan air (%)	%	2,710
Kadar Lumpur		2,927

a. Hasil Pengujian Setting Time

Setiap rancangan campuran dilakukan dua kali pengambilan data kemudian dirata-ratakan. Pengujian mengacu pada standar ASTM C191. Hasil pengujian setting time terdiri dari waktu ikat awal (initial setting time) dan waktu ikatan akhir (final setting time), dapat dilihat pada Gambar 3.



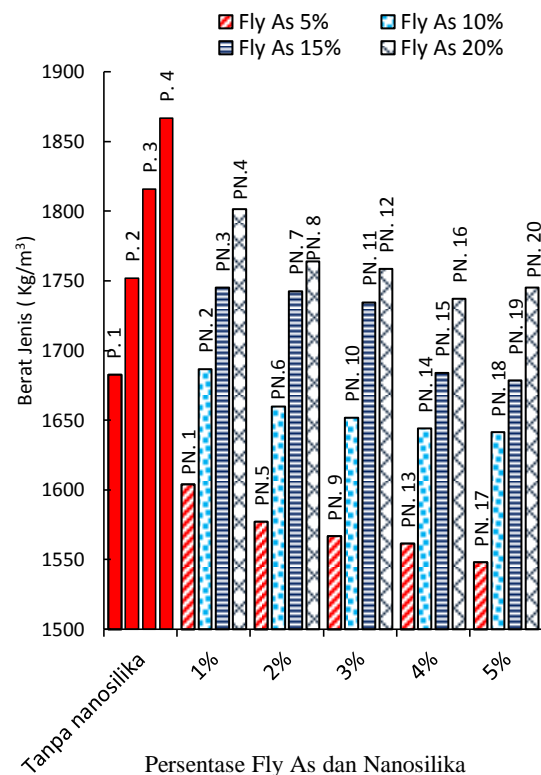
Gambar 3. Hasil pengujian setting time

Hasil pengujian setting time dapat dilihat bahwa peran persentase dari kadar epoxy resin dan fly ash sangat berpengaruh pada waktu ikat. Terlihat pada Gambar 4.2 dengan komposisi P-4 dimana kandungan epoxy resin dan hardener sebesar 40% ditambah Fly ash sebanyak 20% dan pasir 40% waktu ikat awal 70 menit dan waktu ikatan akhir 110 menit. Dengan komposisi ini proses pengikatan lebih cepat dibandingkan dengan mortar normal. Berdasarkan ASTM C 1329-04 ikatan awal dari mortar normal 90 menit dan ikatan akhir 1440 menit.

b. Hasil Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis dilakukan dengan cara menimbang berat benda uji kubus pada umur 7 dan 28 hari dibagi dengan volume benda uji target berat jenis (density) yang ingin dicapai berkisar antara 1600-1800 kg/m³. Hasil pengujian berat jenis umur 7 Hari dapat dilihat pada Gambar 4.

Dari Gambar diatas berat jenis terbesar dihasilkan oleh komposisi P-4 tanpa menggunakan nano dengan 40% epoxy resin dan hardener, ditambah 20% Fly As dengan berat jenis sebesar 1.869,83 kg/m³. Untuk berat jenis terendah dihasilkan oleh komposisi PN-17 yaitu 1.548 kg/m³ dengan menggunakan nanokomposit sebanyak 5% dan Fly As sebanyak 5%.



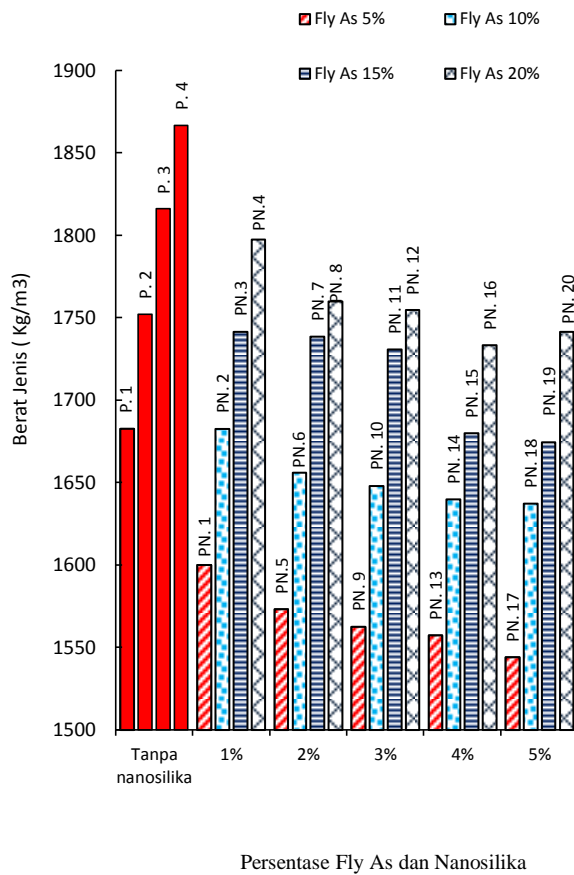
Gambar 4. Hasil berat jenis umur 7 hari

Pada umur 28 hari menunjukkan hasil yang hampir sama pada umur 7 hari. Berdasarkan data diatas berat jenis terbesar dihasilkan oleh komposisi P-4 tanpa menggunakan nano dengan 40% epoxy resin dan hardener, ditambah 20% Fly As dengan berat jenis sebesar 1.866,67 kg/m³. Untuk berat jenis terendah dihasilkan oleh komposisi PN-17 yaitu 1.544 kg/m³ dengan menggunakan nanokomposit sebanyak 5% dan Fly As sebanyak 5%.

Pengaruh Fly ash dan epoxy resin ditambah dengan nanosilika sangat berpengaruh dengan berat jenis yang akan dicapai. Semakin tinggi flyash yang digunakan maka berat jenis semakin besar dan semakin besar persentase nanosilika yang dipakai maka berat jenis akan semakin berkurang.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Juanda *et al.*, 2019) diperoleh berat jenis beton ringan

sebesar 1.692 kg/m³ dengan rasio campuran pasir seberat 747 kg epoxy resin dengan perbandingan 2:1 ditambah foming agent sebanyak 500 L, jika dibandingkan dengan berat jenis dari hasil penelitian diatas maka berat jenis jauh lebih ringan sebesar 1.544 kg/m³. Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan bahan nano komposit.



Gambar 5. Hasil berat jenis umur 28 hari

Gambar 4. dan Gambar 5. menunjukkan bahwa dari seluruh komposisi campuran sudah memenuhi target berat jenis yang telah dicapai berkisar 1600-1800 kg/m³.

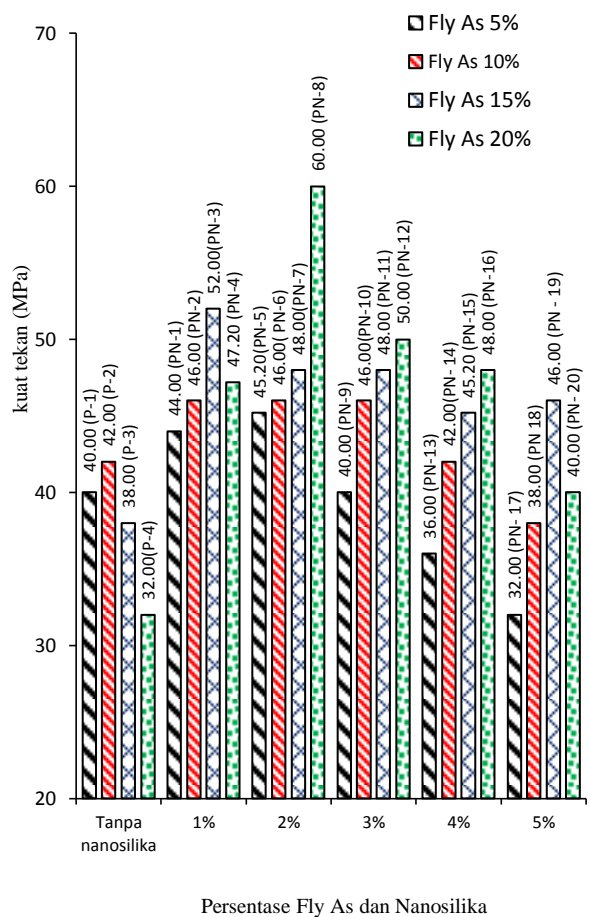
c. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari dengan menggunakan cetakan kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat bahwa kuat tekan maksimum dihasilkan pada PN-8 dengan komposisi campuran 40% pasir, 18 % epoxy resin, 20% hardener , 20% fly As dan 2 % nanosilika pada umur 7 hari dengan kuat tekan sebesar 60 MPa.

Pada saat umur 28 hari terjadi peningkatan kuat tekan pada benda uji dengan nomor PN-8 dengan campuran 40% pasir, 18 % epoxy resin, 20% hardener , 20% fly As dan 2 % nanosilika sebesar 62 MPa dengan berat jenis rata-rata sebesar 1.760 Kg/M³. Nilai ini melampaui kuat tekan mortar normal berdasarkan ASTM C 1329-04 sebesar 20 MPa. Hal Ini disebabkan karna epoxy resin

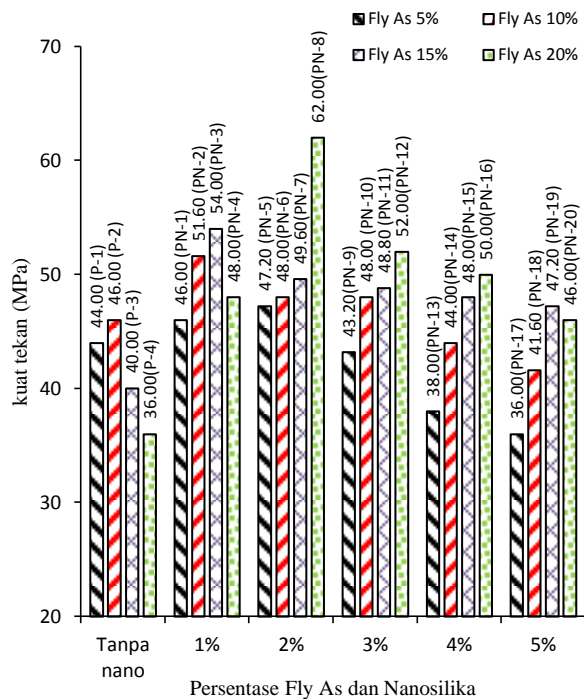
dan hardener memiliki karakteristik kuat terhadap tekan ditambah dengan nanosilika yang dapat meningkatkan kuat tekan maksimum dan Fly Ash memiliki pemadatan molekuler yang tinggi sebagai filler sehingga membentuk suatu material baru yang memiliki berat jenis yang ringan tetapi kuat.



Gambar 6. Hasil Pengujian kuat tekan terhadap persentase epoxy resin, fly as dan Nanosilika umur 7 hari.

Agregat dengan butiran halus menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih tinggi sebagai bahan pengisi karena memiliki kepadatan molekuler yang tinggi (Golestaneh et al., 2010). Menurut (Dang et al., 2002) curing diperlukan untuk memperoleh sifat mekanis yang lebih baik di mana pada proses ini terjadi ikatan-silang (cross linked) antara molekul lebih sempurna. Menurut (Nasution, Imran and Abdullah, 2015).

Nanosilika merupakan bahan unik yang dapat meningkatkan kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan tanpa nanosilika. Menurut (Nuryadin and Khairurrijal, 2008). penambahan partikel nano dapat meningkatkan sifat mekaniknya dan jika dilakukan penambahan secara berlebihan dapat mengakibatkan kekuatan material semakin berkurang.



Gambar 7. Hasil Pengujian kuat tekan terhadap persentase epoxy resin, fly as dan Nanosilika umur 28 hari.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian diatas tentang Mortar Polimer Nanokomposit Sebagai Bahan Perbaikan dapat disimpulkan adalah sebagai berikut:

Kadar epoxy resin, fly Ash dan nanosilika sangat berpengaruh pada waktu ikat, semakin banyak epoxy yang digunakan makan waktu ikat semakin lama. komposisi P-4 dimana kandungan epoxy resin dan hardener sebesar 40% ditambah Fly ash sebanyak 20% dan pasir 40% waktu ikat awal 70 menit dan waktu ikatan akhir 110 menit. Dengan komposisi ini proses pengikatan lebih cepat dibandingkan dengan mortar normal.

Berat jenis terbesar dihasilkan oleh komposisi P-4 tanpa menggunakan nano dengan 40% epoxy resin dan hardener, ditambah 20% Fly As dengan berat jenis sebesar 1.869,83 kg/m³. Untuk berat jenis terendah dihasil oleh komposisi PN-17 yaitu 1.548 kg/m³ dengan menggunakan nanokomposit sebanyak 5% dan Fly As sebanyak 5%. Hasil ini menunjukkan bahwa dari seluruh komposisi campuran sudah memenuhi target berat jenis yang telah dicapai berkisar 1600-1800 kg/m³. Pengaruh Fly ash dan epoxy resin ditambah dengan nanosilika sangat berpengaruh dengan berat jenis yang akan dicapai. Semakin tinggi fly ash yang digunakan maka berat jenis semakin besar dan semakin besar persentase nanosilika yang dipakai makan berat jenis akan semakin berkurang.

Kuat tekan maximum dihasilkan pada PN-8 dengan komposisi campuran 40% pasir, 18 % epoxy resin, 20%

hardener, 20% fly As dan 2 % nanosilika pada umur 7 hari dengan kuat tekan sebesar 60 MPa sedangkan untuk umur 28 hari kuat tekan yang didapat sebesar 62 MPa. Ageregat dan fly ash dengan butiran halus menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih tinggi sebagai bahan pengisi ditambah dengan penggunaan nanosilika yang dapat meningkatkan kekuatan dari material tanpa menggunakan nanosilika dan memiliki kerapatan molekul yang tinggi.

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

- Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar dapat dilakukan pengujian modulus elastisitas, kuat tarik dan pengujian mineral.
- Mencoba dengan memberikan temperature untuk mengurangi fikositas dari epoxy resin dan hardener.

Daftar Pustaka

Ma, H. *et al.* (2018) ‘OPEN A Study on Curing Kinetics of Nano- Phase Modified Epoxy Resin’, *Scientific Reports*. Springer US, 1(January), pp. 1–16. doi: 10.1038/s41598-018-21208-0.

Duemichen, E. *et al.* (2015) ‘Analyzing the network formation and curing kinetics of epoxy resins by in situ near-infrared measurements with variable heating rates’, *Thermochimica Acta*. Elsevier B.V., 616, pp. 49–60. doi: 10.1016/j.tca.2015.08.008.

Dang, W. *et al.* (2002) ‘An approach to chemical recycling of epoxy resin cured with amine using nitric acid’, *Polymer*, 43(10), pp. 2953–2958. doi: 10.1016/S0032-3861(02)00100-3.

Jin, F. L. and Park, S. J. (2009) ‘Thermal Stability of Trifunctional Epoxy Resins Modified with Nanosized Calcium Carbonate’, 30(2), pp. 334–338.

Zheng, Yaping, Zheng, Ying and Ning, R. (2003) ‘Effects of nanoparticles SiO₂ on the performance of nanocomposites’, 57, pp. 2940–2944. doi: 10.1016/S0167-577X(02)01401-5.

Hakiki, F. *et al.* (2015) Is Epoxy-Based Polymer Suitable for Water Shut-Off Application? doi: 10.2118/176457-MS.

Nasution, A., Imran, I. and Abdullah, M. (2015) ‘Improvement of concrete durability by nanomaterials’, *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 125, pp. 608–612. doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.078.

Golestaneh, M. *et al.* (2010) ‘Evaluation of Mechanical Strength of Epoxy Polymer Concrete with Silica Powder as Filler’, *World Applied Sciences Journal*, 9(2), pp. 216–220

Juanda, O. *et al.* (2019) ‘Physical and mechanical properties of lightweight polymer concrete with epoxy resin’, *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(7), pp. 857–863.

Nuryadin, B. W. and Khairurrijal, K. (2008) ‘Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat , Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing’, (January).