

## PENGARUH PERSENTASE FLY ASH DAN PASIR PADA POLYMER CONCRETE SEBAGAI RANGKA PADA MESIN PERKAKAS DENGAN PENGUJIAN SIFAT MEKANIK

\*Fahri Yafi<sup>1</sup>, Sulardjaka<sup>2</sup>, Norman Iskandar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: fahriyafi13@gmail.com

### Abstrak

Seiring waktu, bahan rangka mesin perkakas mengalami evolusi dari kayu ke logam yang lebih kuat. Saat ini, fokus penelitian beralih ke pengembangan komposit sebagai pengganti logam, yang terdiri dari matriks pengikat dan bahan penguat untuk meningkatkan performa mesin. Dalam penelitian ini, *fly ash* limbah pembakaran batu bara dari PLTU yang melimpah karena batu bara menyumbang 38% energi nasional dan pasir vulkanik, yang tersebar luas di Indonesia, dimanfaatkan sebagai bahan pengisi alternatif yang ekonomis. Kombinasi *fly ash* dan pasir vulkanik dalam matriks *epoxy* diharapkan menghasilkan *polymer concrete* yang kuat, tahan lama, dan mampu meredam getaran, sehingga cocok untuk rangka mesin perkakas. Komposisi *fly ash* dan pasir vulkanik yang diuji meliputi 25:75, 50:50, 75:25, dan 0:100. Hasil pengujian menunjukkan densitas tertinggi sebesar 1,92 gram/cm<sup>3</sup> pada sampel dengan 100% pasir berukuran *mesh* 60. Kuat tarik terbaik sebesar 6,5 MPa dengan 100% pasir berukuran *mesh* 60. Penambahan pasir terbukti meningkatkan kuat tarik.

**Kata Kunci:** *epoxy*; *fly ash*; pasir vulkanik

### Abstract

Over time, machine tool frame materials have evolved from wood to stronger metals. Currently, research focuses on developing composites as metal substitutes, consisting of a binding matrix and reinforcing materials to enhance machine performance. In this study, *fly ash*—an abundant coal combustion residue from power plants contributing 38% of the national energy supply—and volcanic sand, widely available in Indonesia, are utilized as economical alternative fillers. The combination of *fly ash* and volcanic sand in an *epoxy* matrix is expected to produce *polymer concrete* that is strong, durable, and capable of vibration damping, making it suitable for machine tool frames. Tested compositions of *fly ash* and volcanic sand include 25:75, 50:50, 75:25, and 0:100. Testing results showed the highest density of 1.92 g/cm<sup>3</sup> in samples with 100% sand of mesh size 60. The best tensile strength, 6.5 MPa, was also achieved with 100% sand of mesh size 60. The addition of sand has been proven to improve tensile strength.

**Keywords:** *epoxy*; *fly ash*; volcanic sand

### 1. Pendahuluan

Mineral komposit atau dapat disebut juga sebagai *polymer concrete* (PC) merupakan material kompleks yang tersusun atas partikel agregat anorganik, seperti *basalt*, *spodumene*, *fly ash*, kerikil sungai, pasir, kapur, dan sebagainya yang digabungkan dengan resin, biasanya *epoxy* [1]. Keuntungan dari penggunaan *polymer concrete* sebagai material manufaktur untuk struktur mesin antara lain kemudahan manufaktur, ketahanan korosi, rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, termal konduktivitas rendah, dan yang paling utama ialah kemampuan untuk meredam getaran [2]. Pemanfaatan *fly ash* berbasis energi terbarukan dapat menjadi bagian dari strategi untuk mencapai bauran energi terbarukan di Indonesia sebesar 23% pada tahun 2025 [3].

Hal penting yang menjadi pertimbangan pada *polymer concrete* ialah kapasitas redamannya yang tinggi dibandingkan dengan besi cor kelabu untuk aplikasi struktur mesin [4]. Sebelumnya, Keong dkk. [5] melakukan studi terkait sifat mekanik komposit berpenguat *incineration ash* dan matriks *epoxy*. Hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan lentur komposit menurun dengan penggabungan *incineration ash* ke dalam komposit berbasis *epoxy*. Hal ini karena ikatan antar muka yang lebih lemah antara *incineration ash* dan matriks *epoxy*. Shi dkk [6] melakukan penelitian studi terkait komposit dengan komposisi resin *epoxy* sebesar 20%, 25%, dan 30% dengan *filler* berupa *loess* (LS) dan *river sand* (RS). Hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan tekan spesimen meningkat signifikan dengan meningkatnya resin *epoxy*.

Akan tetapi penelitian sebelumnya tidak membahas pengaruh penambahan pasir yang dapat meningkatkan nilai pengujian sifat mekanik. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan membahas tentang bagaimana pengaruh variasi komposisi *polymer concrete* dengan material penyusun pasir vulkanik dan *fly ash*.

## 2. Dasar Teori

Polymer concrete (PC) merupakan bahan composite yang dihasilkan dari polimerisasi campuran monomer/ agregat. Monomer yang dipolimerisasi berfungsi sebagai pengikat untuk agregat dan komposit yang dihasilkan disebut "polymer concrete". Sifat cepat mengeras dan kekuatannya yang tinggi, polymer concrete (PC) pada awal penggunaannya digunakan untuk pelapisan bangunan, perbaikan jalan, trotoar, dan lain-lain [7]. Selain itu, material ini memiliki tingkat penyerapan air yang rendah dan stabilitas volume yang tinggi. Proses pengerasannya pun dapat diselesaikan dalam hitungan jam saja [8].

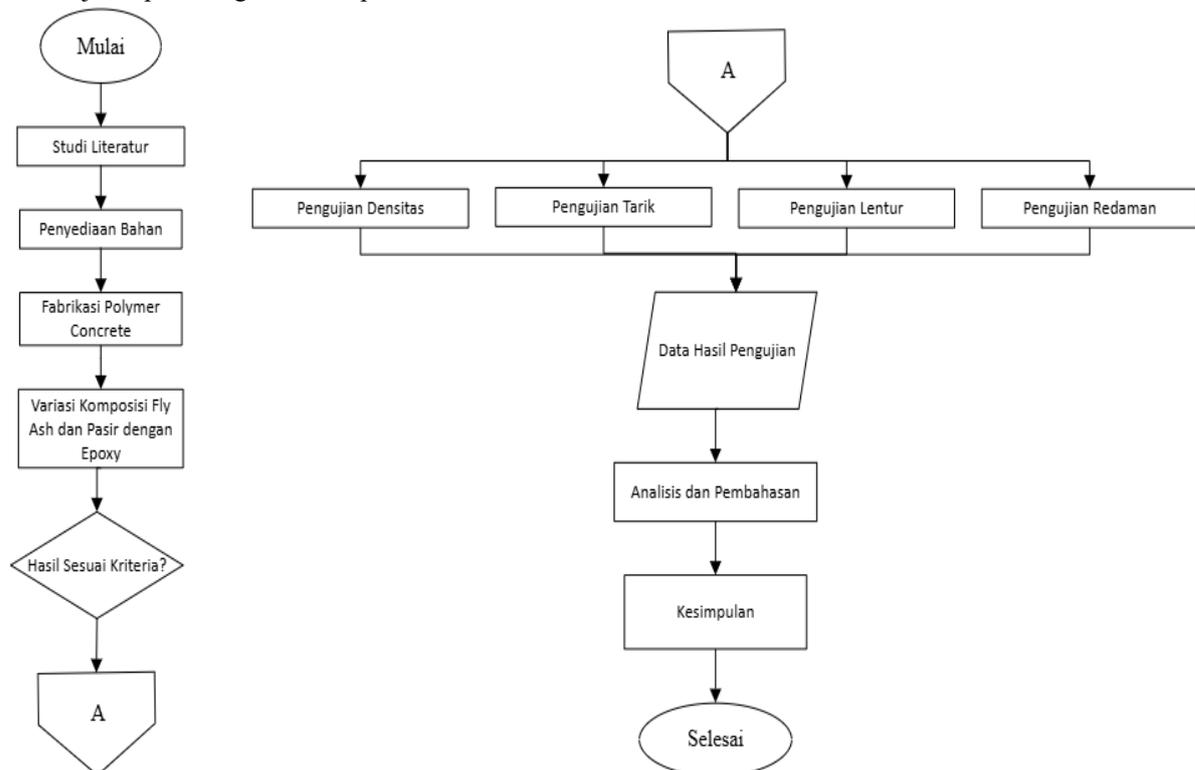
Resin epoxy adalah salah satu termoset yang digunakan secara luas dalam aplikasi komposit struktural karena epoxy memiliki kombinasi sifat yang unik yang tidak dapat dicapai dengan resin termoset lainnya. Resin epoxy tersedia dalam berbagai macam bentuk fasa mulai dari cairan dengan viskositas rendah hingga padatan dengan leleh tinggi, bahan ini dapat digunakan untuk berbagai proses dan aplikasi. Resin epoxy juga secara kimiawi kompatibel dengan sebagian besar substrat dan cenderung mudah membasahi permukaan, membuatnya sangat sesuai untuk aplikasi komposit [9].

Pasir sebagai agregat dalam beton polimer (polymer concrete) memainkan peran penting dalam menentukan sifat fisik dan mekanik dari material tersebut. Pasir merupakan material granular alami yang belum terkonsolidasi. Pasir terdiri dari butiran-butiran yang berukuran kecil [10].

Fly ash merupakan partikel halus seperti tepung yang sebagian besar berbentuk bulat, padat atau berongga, dan sebagian besar bersifat amorf yang berasal dari pembakaran batu bara menyebabkan pembangunan pembangkit listrik tenaga batu bara [11].

## 3. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan beberapa proses yang dilewati. Proses-proses yang dilakukan pada penelitian kali ini disajikan pada diagram alir seperti Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3.1 Bahan

Bahan material yang digunakan dalam pembuatan spesimen *polymer concrete* adalah:

- a. Resin  
 Resin berperan sebagai pengisi atau matriks dalam sebuah *polymer concrete*. Resin yang digunakan ini harus dicampur dengan *hardener* agar dapat kering ketika digunakan. Setelah itu perlu dilakukan pengadukan yang merata agar menghasilkan campuran resin dan *hardener* yang homogen.
- b. *Hardener*

*Hardener* berfungsi sebagai campuran untuk resin dalam hal ini adalah resin *epoxy* sebagai pengeras agar matriks dapat mengering ketika telah bercampur dengan *reinforcement* dan menjadi komposit.

- c. Pasir Vulkanik  
Pasir untuk nantinya digunakan sebagai penguat (*reinforcement*) pada komposit.
- d. *Fly Ash*  
*Fly Ash* sama seperti pasir nantinya akan digunakan sebagai penguat pada komposit. *Fly Ash* sudah dilakukan kalsinasi selama 3 jam pada temperatur 800 °C.
- e. *Aceton*  
*Aceton* berfungsi sebagai pengencer campuran resin dan *hardener* agar dapat dilakukan fabrikasi.

### 3.2 Alat

Alat yang digunakan untuk fabrikasi polymer concrete adalah:

- a. Cetakan (Molding)
- b. Mixer
- c. Wax
- d. Blower
- e. Timbangan Digital
- f. Density Meter
- g. Skrap
- h. Vernier Caliper
- i. Ball Mill
- j. Sieving Shaker
- k. Vibrator

### 3.3 Proses Fabrikasi Polymer Concrete

Pada fabrikasi polymer concrete terdapat beberapa proses yang dilakukan yaitu mencampurkan resin dan acetone dengan pasir dan fly ash yang sudah ditimbang sesuai dengan variasi komposisi yang diinginkan. Setelah tercampur merata, campurkan hardener dan mixing hingga merata.



**Gambar 2.** Hasil pencampuran material

Setelah material penyusun dicampurkan hingga merata, kemudian tuangkan ke dalam cetakan yang sebelumnya sudah dilapisi oleh wax agar nantinya apabila spesimen sudah mengeras akan mudah untuk dilepas dari cetakan. Setelah dituangkan ke dalam cetakan, agar meratakan setiap sisi cetakan dilakukan vibrasi menggunakan vibrator.



**Gambar 3.** Proses vibrasi spesimen

Setelah proses vibrasi kemudian spesimen di diamkan hingga mengeras. Apabila sudah mengeras maka spesimen dapat dilepaskan dari cetakan.



**Gambar 4.** Hasil spesimen

Setelah spesimen dilepaskan dari cetakan, kemudian dilakukan pemotongan spesimen dengan menggunakan waterjet cutting. Proses pemotongan ini dilakukan untuk pengujian tarik dengan berdasarkan ASTM D638.



**Gambar 5.** Dimensi spesimen uji tarik (mm)

Setelah spesimen selesai proses waterjet cutting, tahap selanjutnya adalah pengujian spesimen pengujian tarik yang berdasarkan ASTM D638.

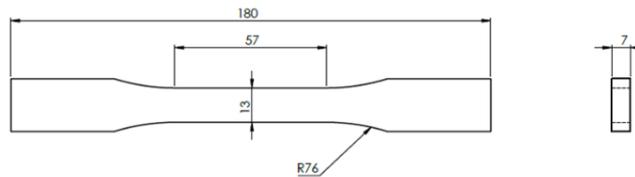
### 3.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik (tensile test) adalah pengujian mekanik secara statis, yang mana sampel uji ditarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus. Tujuannya untuk mengetahui sifat mekanik tarik (kekuatan tarik) dari komposit yang diuji. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Material Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Alat yang digunakan yaitu Universal Testing Machine (UTM) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Universal Testing Machine (UTM)

Untuk pengujian tarik, spesimen memiliki dimensi berdasarkan ASTM D638 yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Dimensi Uji Tarik ASTM D638 (mm)

#### 4. Hasil dan Pembahasan

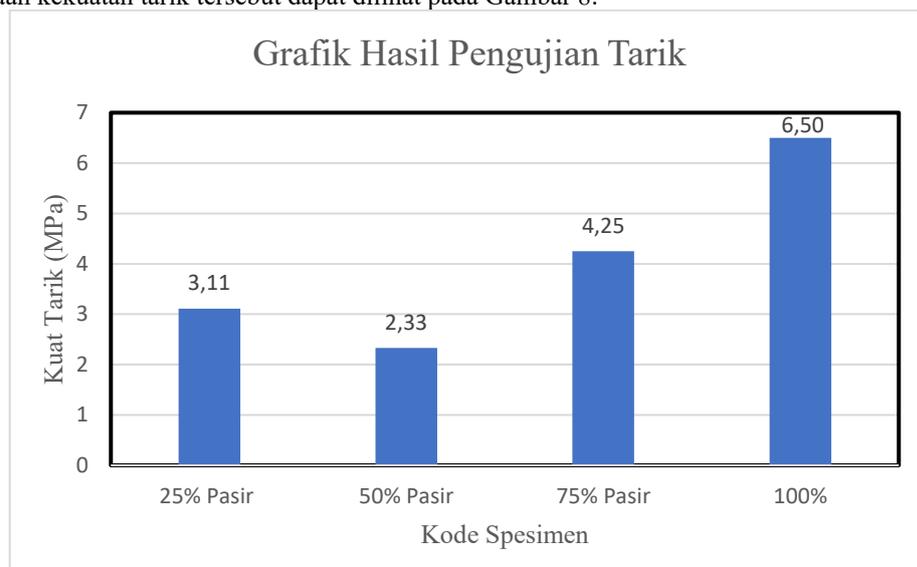
##### 4.1 Hasil Pengujian Tarik

Berdasarkan hasil pengujian tarik yang telah dilakukan kepada spesimen yang sudah dibuat didapatkan data seperti gaya maksimum dan kuat tarik dari spesimen yang dilakukan pengujian.

Tabel 1. Data hasil uji tarik

Kode Spesimen	Kuat Tarik (Mpa)
A1	3,11
B1	2,33
C1	4,25
D1	6,50

Berdasarkan data hasil pengujian tarik yang telah dilakukan, apabila diubah menjadi diagram batang dapat dilihat pada gambar perbedaan kekuatan tarik tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hasil pengujian tarik

##### 4.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan Gambar 8. Grafik menunjukkan pengaruh persentase pasir sebagai bahan pengisi terhadap kuat tarik sampel komposit. Terlihat bahwa kuat tarik meningkat seiring dengan bertambahnya proporsi pasir dalam campuran. Pada sampel dengan 25% pasir, kuat tarik yang dihasilkan sebesar 3,11 MPa, kemudian menurun sedikit pada 50% pasir menjadi 2,33 MPa. Namun, setelah itu terjadi peningkatan yang signifikan pada sampel dengan 75% pasir, yaitu 4,25 MPa, dan mencapai nilai tertinggi pada 100% pasir dengan kuat tarik sebesar 6,50 MPa.

Peningkatan kuat tarik ini menandakan bahwa penambahan pasir berperan penting dalam memperkuat struktur *polymer concrete* yang diuji. Pasir dengan ukuran mesh 60 kemungkinan memberikan distribusi butiran yang optimal sehingga meningkatkan keterikatan antar partikel dalam matriks *epoxy*. Penurunan sementara pada 50% pasir bisa jadi karena ketidakseimbangan proporsi bahan pengisi yang mempengaruhi homogenitas campuran.

Kesimpulannya, penambahan pasir sebagai bahan pengisi dalam komposit *epoxy* memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kuat tarik, terutama pada persentase pasir yang lebih tinggi, sehingga kombinasi 100% pasir menghasilkan performa tarik terbaik.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji eksperimental yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh persentase *fly ash* dan pasir pada *polymer concrete* sebagai rangka pada mesin perkakas dengan pengujian sifat mekanik terhadap kekuatan tarik diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Polymer concrete pada sifat kuat tarik, spesimen yang berkomposisi pasir 100% dengan ukuran mesh 60 memiliki nilai uji paling tinggi yaitu 6,5 MPa. Sedangkan nilai terendah adalah spesimen berkomposisi 25% pasir berukuran mesh 60 dan 75% fly ash.
2. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan mengindikasikan bahwa penambahan pasir sebagai bahan pengisi memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan kekuatan tarik material polymer concrete.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Kępczak, N. and Pawłowski, W. (2013) 'Application of Mineral Casting for Machine Tools Beds', *Mechanics and Mechanical Engineering*, 17(4), pp. 285–289.
- [2] Orak, S. (2000). Investigation of vibration damping on polymer concrete with polyester resin. Dalam *Cement and Concrete Research* (Vol. 30).
- [3] Hermawan, R. and Riastuti, R. (2022) 'the Effect of Fly Ash Utilization in Reinforcement Concrete: a Review', *Indonesian Journal of Engineering and Science*, 3(1), pp. 047–053. Available at: <https://doi.org/10.51630/ijes.v3i1.37>.
- [4] Cortés, F., & Castillo, G. (2007). Comparison between the dynamical properties of polymer concrete and grey cast iron for machine tool applications. *Materials and Design*, 28(5), 1461–1466. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.03.012>
- [5] Keong, G. C., Mohd Walad, M. H. B., Xiong, O. W., Haikel, M. N., Ling, C. H., Ravichandran, R. K. S. O., Kiang, L. T., & Hing, T. L. (2017). A Study on Mechanical Properties and Leaching Behaviour of Municipal Solid Waste (MSW) Incineration Ash/Epoxy Composites. *Energy Procedia*, 143, 448–453. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.780>
- [6] Shi, J., Wang, J., Yu, Z., Li, J., Ren, T., & Tao, Y. (2024). Comprehensive performance study of materials after innovative utilizing epoxy resin curing of loess and river sand: Mechanical properties, durability and microstructure. *Construction and Building Materials*, 415.
- [7] Hassani Niaki, M. (2023) 'Fracture mechanics of polymer concretes: A review', *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 125(April), p. 103922. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2023.103922>. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134184>
- [8] Mikhailov, K. V., et. al., 1992, *Polymer concretes and their structural uses*, Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, No. 1, pp. 311-317;
- [9] Markovičová, L., Zatkalíková, V., & Hanusová, P. (2019). Carbon Fiber Polymer Composites. *Quality Production Improvement - QPI*, 276–280. <https://doi.org/10.2478/9783110680591-037>
- [10] Ridwan, A. and Chandra, A. (2018) 'Jobmix Beton Menggunakan Pasir Lumajang Dan Penambahan Additive Masterpozzolith@402R', *Jurnal CIVILA*, 3(2), p. 192. Available at: <https://doi.org/10.30736/cvl.v3i2.263>.
- [11] Rafieizonooz, M., Khankhaje, E., & Rezania, S. (2022). Assessment of environmental and chemical properties of coal ashes including fly ash and bottom ash, and coal ash concrete. *Journal of* <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104040>