

PRERFORMA ALIRAN TANAH AKIBAT DRAINASE PERFORASI

Muhammad Rizki Barokah, Muhammad Rizki Faisal Fadillah*, Gayuh Aji
Prasetyaningtiyas

Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Jawa Tengah

*Email: mrizkifaisalfadillah@gmail.com

Abstrak

Kerusakan jalan di wilayah Ngargoyoso, Karanganyar, dipengaruhi oleh rendahnya permeabilitas tanah serta kurang optimalnya sistem drainase bawah permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemasangan drainase perforasi terhadap karakteristik hidromekanik tanah serta mengevaluasi penggunaan material alternatif filter yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Sistem drainase dirancang menggunakan pipa baja perforasi yang dilapisi sabut kelapa dan limbah kain *polyester* sebagai pengganti geotekstil. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental melalui uji permeabilitas dengan metode constant head pada tanah asli dan tanah dengan variasi pemasangan drainase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan drainase perforasi mampu meningkatkan koefisien permeabilitas tanah hingga sekitar 100 kali lipat, dari $2,84 \times 10^{-7}$ m/s menjadi $1,64 \times 10^{-5}$ m/s. Selain itu, debit aliran keluar meningkat sebesar 56%. Permeabilitas tanah dengan filter sabut kelapa dan kain *polyester* juga lebih tinggi dibandingkan dengan geotekstil hingga sekitar 10 kali lipat, yaitu $1,6436 \times 10^{-5}$ m/s dan $7,64 \times 10^{-6}$ m/s.

Kata kunci: drainase perforasi, permeabilitas tanah, hidromekanik tanah

Abstract

Road damage in Ngargoyoso, Karanganyar, is influenced by low soil permeability and inadequate subsurface drainage systems. This study aims to analyze the effect of perforated drainage installation on the hydromechanical characteristics of soil and to evaluate the use of alternative filter materials that are more economical and environmentally friendly. The drainage system was designed using perforated steel pipes wrapped with coconut fiber and polyester textile waste as a substitute for geotextile. The research method was conducted experimentally through permeability testing using the constant head method on natural soil and soil with various drainage configurations. The results show that the installation of perforated drainage increases the soil permeability coefficient by approximately 100 times, from 2.84×10^{-7} m/s to 1.64×10^{-5} m/s. In addition, the outflow discharge increased by 56%. The permeability of soil using coconut fiber and polyester filters is also higher than that of geotextile by approximately 10 times, with values of 1.6436×10^{-5} m/s and 7.64×10^{-6} m/s, respectively.

Keywords: perforated drainage, soil permeability, hydromechanical properties

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2024), panjang jalan rusak di Kabupaten Karanganyar mencapai 145,71 km, dengan 42,68 km dalam kondisi rusak berat. Di wilayah Ngargoyoso, kerusakan jalan dipengaruhi oleh kondisi lereng yang curam serta sistem drainase yang kurang baik, yang umumnya masih menggunakan pipa PVC. Distribusi air bersih dari sumber mata air ke permukiman dilakukan melalui pipa PVC dengan panjang lebih dari 10 km tanpa perlindungan yang memadai, sehingga kebocoran sulit terdeteksi dan jarang dilakukan perawatan. Selain itu, beban kendaraan yang melintas sering menyebabkan pipa yang tertanam di bawah jalan mengalami kerusakan. Kebocoran yang terjadi kemudian membentuk jalur aliran air baru yang merusak struktur perkerasan jalan. Ditambah dengan kondisi tanah dan iklim setempat, faktor-faktor tersebut secara keseluruhan mempercepat terjadinya kerusakan jalan di wilayah ini.

Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian tergolong sandy silt (SM) dengan kadar air tinggi dan berat volume rendah, sehingga sangat rentan mengalami perubahan sifat akibat pengaruh air. Tanah jenis ini memiliki permeabilitas rendah hingga sedang (Bilardi dkk., 2020), yang menyebabkan air cenderung tertahan di dalam pori-pori tanah. Kondisi ini diperparah akibat kebocoran air dari pipa distribusi maupun curah hujan yang tinggi, yaitu sebesar 1.905,3 mm/tahun (Badan Pusat Statistik, 2024). Akibatnya, ketika ada air yang masuk ke pori-pori tanah, tanah menjadi

cepat jenuh dan mengalami pengembangan, sedangkan pada musim kemarau terjadi penyusutan yang menimbulkan retakan. Siklus perubahan volume ini berkontribusi signifikan dalam mempercepat kerusakan struktur perkerasan jalan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan sistem drainase bawah permukaan guna meningkatkan permeabilitas tanah dan memperpanjang umur layan jalan. Umumnya drainase menggunakan geotekstil sebagai filter, namun biayanya relatif mahal. Penelitian mengenai drainase pencegah longsor pernah dilakukan sebelumnya tapi tidak menginovasikan limbah kain perca sebagai pengganti geotekstil (Lestari, E., 2017, Lei dkk., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan limbah kain *polyester* dan sabut kelapa sebagai alternatif filter yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

Penggunaan limbah kain perca *polyester* sebagai pengganti geotekstil didasari oleh penumpukan limbah kain perca yang meningkat setiap tahunnya, khususnya jenis *polyester*, yang sulit terurai. Industri tekstil dan konveksi di Indonesia menghasilkan limbah kain perca sekitar 1,6% dari total bahan baku, atau setara 1,05 juta ton per tahun (KLHK, 2024), sebagian besar berakhir di TPA. Saputra dkk. (2023), Hartiningrum dkk. (2020), Yusuf dkk. (2022) pernah menggunakan limbah kain perca sebagai media kanvas lukis, dan kerajinan tangan, namun tidak memanfaatkan limbah kain perca sebagai komponen drainase. Pemanfaatan limbah kain *polyester* sebagai lapisan filter pada drainase perforasi juga dapat menjadi alternatif pengganti geotekstil yang mahal, sekaligus mendukung konsep ekonomi hijau.

Penelitian difokuskan pada perancangan drainase perforasi berbahan pipa baja yang dilapisi sabut kelapa dan limbah kain *polyester*. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan permeabilitas tanah, mengoptimalkan distribusi air, dan mengurangi kerusakan jalan melalui analisis hidromekanik dan pemodelan aliran (*seepage*), sehingga diperoleh sistem drainase yang efektif, ekonomis, dan berkelanjutan

2. METODOLOGI

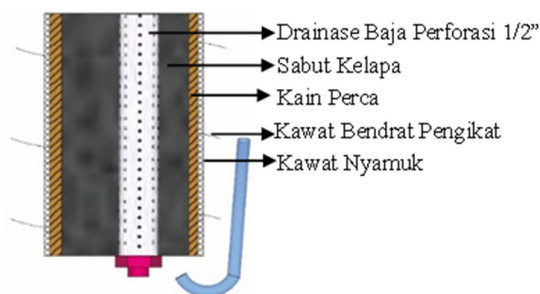
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, metode ini dilakukan untuk memperoleh data karakteristik tanah asli. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Muhammadiyah Surakarta. Tahapan penelitian dibagi menjadi tiga tahap sebagai berikut.

- 1) Tahap pertama merupakan tahap persiapan penelitian yang meliputi:
 - a) Studi kasus untuk mengidentifikasi permasalahan di lokasi penelitian
 - b) Studi literatur guna memperoleh teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan.
 - c) Survei lapangan untuk pengambilan sampel tanah dan sabut kelapa. Sampel tanah diambil dari daerah Kemuning, Ngargoyoso, Karanganyar, sedangkan sabut kelapa diperoleh dari pedagang kelapa kupas di sekitar Universitas Muhammadiyah Surakarta, dan limbah kain perca *polyester* dikumpulkan dari konveksi di wilayah yang sama.

Pada tahap ini juga dilakukan pengujian sifat fisik tanah untuk memperoleh data kadar air lapangan, kepadatan, serta klasifikasi tanah. Setelah pengujian sifat tanah selesai, dilakukan penentuan boundary condition sebagai batasan dalam penelitian.

- 2) Tahap kedua adalah penentuan *boundary condition* yang meliputi batasan permasalahan yang diteliti serta batasan dalam pembuatan sampel uji. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan perforated drain menggunakan sabut kelapa dan limbah kain *polyester* sebagai lapisan filter.
 - a. Pembuatan Drainase

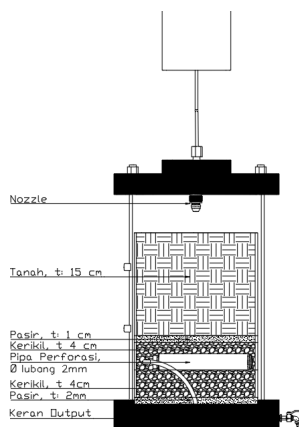
Pembuatan drainase perforasi pada penelitian ini menggunakan pipa baja sebagai material utama. Dimensi drainase dan ukuran lubang perforasi mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Hanif (2025). Pipa baja dilubangi dengan diameter 2 mm dan jarak antar lubang 2 mm, yang ditentukan berdasarkan hasil penskalaan dari drainase perforasi baja yang tersedia di pasaran. Bagian luar drainase kemudian dilapisi sabut kelapa dan kain perca yang berfungsi sebagai filter untuk mencegah masuknya lumpur ke dalam saluran drainase. Susunan lapisan drainase perforasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Susunan lapisan drainase perforasi.

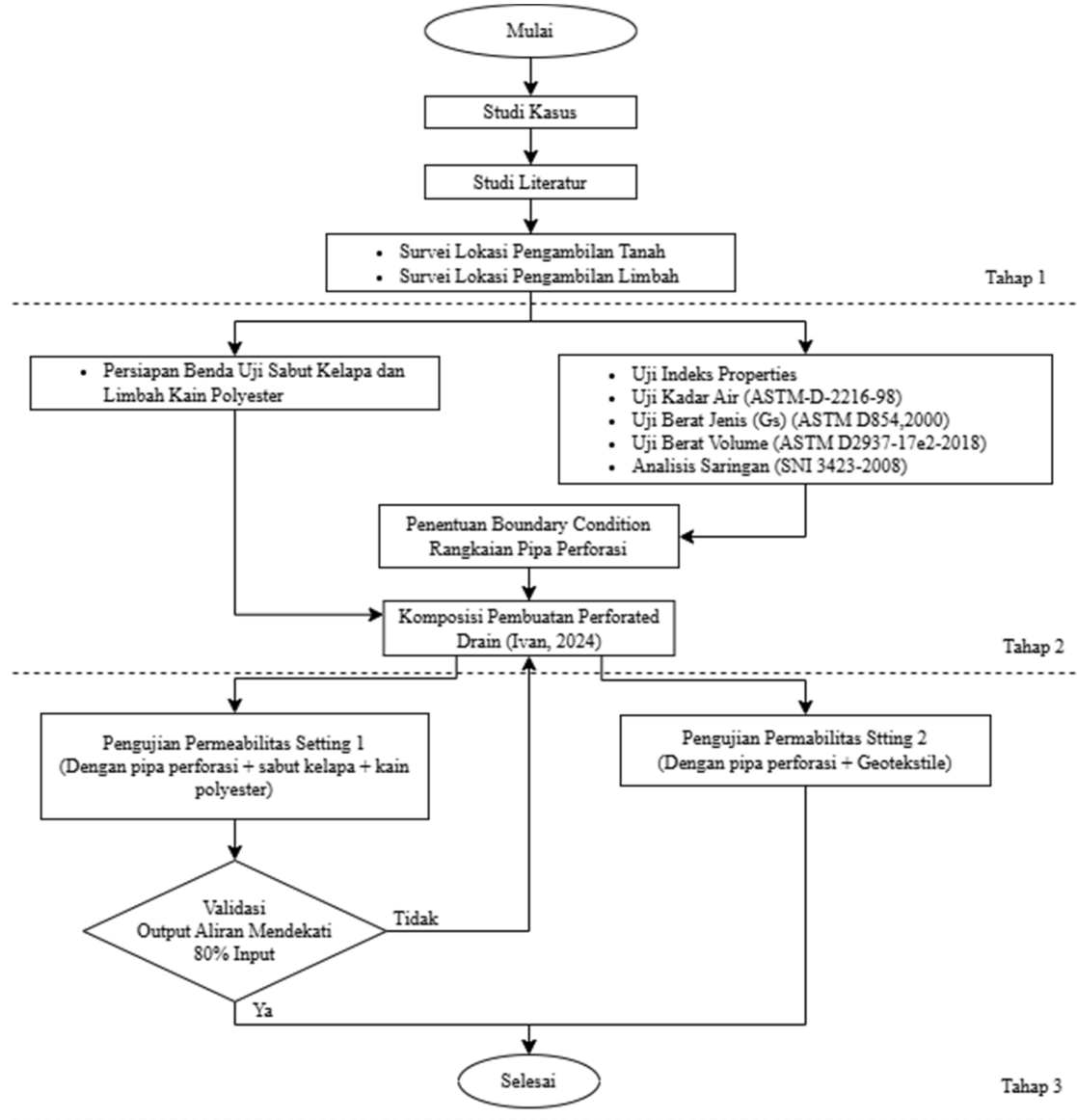
- 3) Tahap ketiga adalah pengujian permeabilitas yang terdiri dari tiga kondisi.
- Pengujian pertama dilakukan pada tanah asli menggunakan metode constant head untuk memperoleh nilai koefisien permeabilitas awal.
 - Pengujian kedua dilakukan *setting 1*, dengan menambahkan drainase perforasi yang dibalut sabut kelapa dan limbah kain *polyester* ke dalam tanah untuk mengetahui perubahan nilai permeabilitas, sebelum dan setelah dipasang drainase perforasi. Pada pengujian kedua (*setting 1*), sistem pengujian dimodifikasi dengan menambahkan drainase perforasi ke dalam media tanah. Pengujian menggunakan metode *constant head* dengan intensitas hujan yang diskalakan dari kondisi lapangan. Curah hujan bulan Oktober sebesar 21,67 mm/jam dikonversi sesuai luas penampang alat sehingga diperoleh debit $5,51 \times 10^{-7}$ mm/s. Simulasi hujan dilakukan dengan memompa air dari tabung input menggunakan kompresor dan mengalirkannya ke nozzle pada penutup alat.
 - Pengujian ketiga dilakukan *setting 2*, dengan menambahkan drainase perforasi yang dibalut dengan geotekstil ke dalam tanah, untuk membandingkan hasil koefisien permeabilitas *setting 1* dan *setting 2*. Pada pengujian ketiga (*setting 2*), sistem pengujian permeabilitas yang dilakukan sama dengan *setting 1*, tetapi pipa perforasi dilapisi dengan geotekstil sebagai filternya.

Susunan pengujian *setting 1* dan *setting 2* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Susunan pengujian permeabilitas.

Lalu dilanjutkan dengan analisis data hasil pengujian, lalu diakhiri dengan penyusunan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis, yang bertujuan untuk menjawab rumusan masalah penelitian. Seluruh tahapan penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan alir penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian indeks propertis tanah

Pada tahap awal penelitian dilakukan uji propertis tanah untuk mendapatkan data-data tanah asli di lapangan.

- 1) Pengujian kadar air (ASTM D-2216-98)
Dari hasil pengujian kadar air ($w\%$) didapatkan bahwa, kadar air tanah asli (*undisturbed*) sebesar 58,73%.
- 2) Pengujian analisis gradasi saringan (SNI 34283-2008)
Dari pengujian yang telah dilakukan, didapat bahwa jenis tanah pada daerah Ngargoyoso, Kab. Karanganyar, dengan metode USCS (*United Soil Classification System*) adalah *Sandy Silt (SM)*.
- 3) Pengujian berat volume tanah (γ_b) (ASTM D2937-17e2-2018)
Dari pengujian yang telah dilakukan, didapat bahwa γ_b tanah tersebut adalah 1,48 gr/cm³ dan γ_d nya adalah 0,935 gr/cm³.

3.2. Pengujian Permeabilitas

Setelah pengujian dilakukan, kemudian mencari nilai koefisien permeabilitas menggunakan persamaan (1) (Abdelhady dkk., 2021)

$$k = \frac{Q.L}{A.h.t} \quad (1)$$

Keterangan :

Q : banyaknya air yang mengalir dari outlet atau debit air (cm^3)

A : luas penampang tanah yang dilewati oleh air (cm^2)

t : waktu pengaliran (s)

k : koefisien permeabilitas tanah (cm/s)

h : tinggi energi hidrolik melewati tanah (cm)

L : panjang jalan aliran melalui tanah (cm)

Setelah dilakukan pengujian permeabilitas, diketahui bahwa nilai permeabilitas tanah meningkat hingga 100 kali lipat setelah dipasang pipa perforasi, yaitu dari $2,8368 \times 10^{-7}$ m/s menjadi $1,6436 \times 10^{-5}$ m/s. Selanjutnya, dilakukan perbandingan antara penggunaan pipa perforasi yang dilapisi sabut kelapa dan limbah kain *polyester* dengan pipa perforasi yang dilapisi geotekstil. Hasil menunjukkan bahwa koefisien permeabilitas tanah dengan pipa berlapis sabut kelapa dan kain *polyester* sekitar 10 kali lebih besar dibandingkan dengan geotekstil, yaitu $1,6436 \times 10^{-5}$ m/s dan $7,64 \times 10^{-6}$ m/s. Hal ini disebabkan oleh ukuran serat kain *polyester* yang lebih besar, sehingga aliran air lebih mudah masuk ke dalam pipa perforasi.

Kemudian debit keluaran air juga mengalami peningkatan sebanyak 56% dibandingkan tanah asli, semula $0,0004954$ m³/s menjadi $0,0008805$ m³/s. Hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil koefisien peremeabilitas (k) pada *constanthead*

Sampel	Volume (v) ml	Waktu (t) s	Luas Penampang (A) cm	Panjang (L) cm	Tinggi Tekanan (ΔH) cm	Koefisien Permeabilitas (K) cm/s	Permeabilitas m/s
Tanah Asli	25	504,6	254,5	9,5	65,2	0,00003	2,84E-07
Setting 1	14	159	254,5	9,5	2	0,0000164	1,6436E-05
Dengan Geotekstil	40,5	180	254,5	9,5	11	0,00000764	7,64E-06

Tabel 2. Hasil debit (Q) output pada *constanthead*

Sampel	Volume (v) ml	Waktu (t) s	Debit (Q) ml/s	m ³ /s
Tanah Asli	25	504,6	0,049544193	0,000495
Setting 1	14	159	0,088050314	0,000881
Dengan Geotekstil	40,5	180	0,225	0,000225

Setelah pengujian dilakukan kemudian dilakukan validasi, Pengujian permeabilitas pada *setting* 1 dinyatakan valid apabila debit output mendekati minimal 80% dari debit input. Pada penelitian ini, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai output mencapai 299% dari input, sehingga pengujian permeabilitas pada *setting* 1 dinyatakan valid, hasil validasi pengujian permeabilitas pada *setting* 1 Tabel 3.

Tabel 3. Validasi permeabilitas Setting 1

Parameter	Volume (m ³)	Waktu (s)	Debit (m ³ /s)
Input	2,63E-03	81	3,247E-05
Output	1,20E-04	10,99	1,088E-05
		Perbandingan	299%

4. KESIMPULAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Permeabilitas tanah meningkat hingga 100 kali lipat, dari $2,8368 \times 10^{-7}$ m/s menjadi $1,6436 \times 10^{-5}$ m/s setelah dipasang pipa + sabut kelapa + kain *polyester*, diikuti dengan kenaikan debit aliran keluar sebesar 56%, dari $0,0004954$ m³/s menjadi $0,0008805$ m³/s.
2. Permeabilitas tanah dengan pipa berlapis sabut kelapa dan kain *polyester* sekitar 10 kali lebih besar dibandingkan dengan pipa berlapis geotekstil, yaitu $1,6436 \times 10^{-5}$ m/s dan $7,64 \times 10^{-6}$ m/s.

4.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, masih terdapat beberapa keterbatasan, sehingga disarankan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Pengujian suction tanah perlu dilakukan dengan ketelitian yang lebih tinggi agar hasil pembacaan lebih akurat.
2. Pengujian permeabilitas sebaiknya menggunakan peralatan dengan presisi lebih baik untuk memperoleh data yang lebih akurat.
3. Penelitian selanjutnya disarankan menambah referensi yang relevan serta mempelajari penggunaan alat yang digunakan agar hasil analisis lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhady, A., Hui, L., & Zhang, H. (2021). Comprehensive Study To Accurately Predict The Water Permeability Of Pervious Concrete Using Constant Head Method. *Construction And Building Materials*, 308, 125046. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125046>
- Bilardi, S., Ielo, D., & Moraci, N. (2020). Predicting the saturated hydraulic conductivity of clayey soils and clayey or silty sands. *Geosciences (Switzerland)*, 10(10), 1–16. <https://doi.org/10.3390/geosciences10100393>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar. (2024). *Kabupaten Karanganyar dalam angka 2024*. <https://karanganyarkab.bps.go.id/id/publication/2024/02/28/3a6e4e056b8467959c174645/kabupaten-karanganyar-dalam-angka-2024.html>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar. (2024). *Kabupaten Karanganyar dalam angka 2024*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Karanganyar. <https://karanganyarkab.bps.go.id/id/publication/2024/02/28/3a6e4e056b8467959c174645/kabupaten-karanganyar-dalam-angka-2024.html>
- Hanif, I. M. (2024). *Studi awal pemanfaatan limbah butiran styrofoam sebagai komponen drainase bawah permukaan ditinjau dari aspek permeabilitas dan pembebanan (spasi pengengangan 4 mm)* [Publikasi ilmiah, Universitas Muhammadiyah Surakarta]
- Hartiningrum, E. S. N., Maarif, S., & Rakhmawati, N. (2020). Pemanfaatan limbah kain perca menjadi produk bernilai ekonomis. *Comvice: Journal of Community Service*, 4(2), 37–42.
- KLHK. (2024). *Komposisi Sampah Berdasarkan Jenisnya*. <https://sipsn.kemenlh.go.id/sipsn/public/data/komposisi>
- Lei, W.-J., Chen, Y.-F., Ren, W., Deng, Y., Hu, R., & Yang, Z. (2024). A rigorous formulation of drain boundary conditions for groundwater flow modeling in geotechnical engineering. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.09.004>
- Lestari, E. (2017). Sistem drainase aliran bawah tanah untuk daerah rawan longsor (Studi kasus Sub DAS Sungai Cikapundung, Bandung). *Jurnal Forum Mekanika*, 6(2), 81–87.
- Saputra, A., & Ui, F. T. (2008). *Program Studi Teknik Perkapalan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia Genap 2007/2008*.
- Yusuf, N., & Panigoro, N. (2022). Pemanfaatan kain perca sebagai aksesoris kalung. *Mopolayio: Jurnal Pengabdian Ekonomi*, 2(1), 33–38.