

Pengaruh Tekanan Kompaksi Panas Satu-Arah Terhadap Karakteristik Komposit *Phenolic Resin* Diperkuat Serbuk Logam dan *Boiler Fly-Ash*

Devrin Dwiki Saputra^{1*}, Sukanto¹, Zaldy Sirwansyah Suzen¹

¹ Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat

*E-mail : devrinboy@gmail.com

Received 23 Desember 2025; Received in revised form 6 Januari 2026; Accepted 11 Februari 2026

Abstract

Brake pads are generally manufactured using 60% asbestos. Although still widely used, asbestos is not environmentally friendly and poses serious health risks due to its carcinogenic properties, which can cause respiratory disorders when inhaled. Therefore, new environmentally safer innovations are needed, such as phenolic resin matrix composites. This study aims to analyze the effect of matrix percentage and compaction pressure on the density and hardness of phenolic resin matrix composites reinforced with aluminum, brass, silica sand, and boiler fly ash. The powder metallurgy method was applied, consisting of mixing, compaction, and sintering processes. Mixing was carried out using a horizontal ball mill with a Ball Powder Ratio (BPR) of 10:1 at 90 rpm for 4 hours. Matrix compositions of 25%, 29%, and 33% were tested, along with compaction pressures of 5100, 5400, and 5700 psi for 10 minutes. Density testing followed ASTM B962-17, and hardness testing used ASTM E110-14. The highest hardness before sintering was 154 HB, and the highest density was 1.308 g/cm³ at 5700 psi. After sintering, hardness increased to 216 HB and density to 2.120 g/cm³ at 5700 psi with 25% matrix composition.

Keywords: Brake Pads; Composites; Powder Metallurgy; Hardness Test; Density Test.

Abstrak

Pada umumnya kampas rem dibuat dari 60% asbestos. Namun, bahan ini tidak ramah lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan karena mengandung zat karsinogenik yang dapat menyebabkan gangguan pernapasan jika terhirup. Oleh karena itu, diperlukan inovasi material alternatif seperti komposit bermatriks phenolic resin. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh persentase matriks dan suhu sintering terhadap densitas dan kekerasan komposit phenolic resin yang dipadukan dengan aluminium, kuningan, pasir silika, dan boiler fly ash. Metode yang digunakan adalah metalurgi serbuk melalui tahap mixing, kompaksi, dan sintering. Proses pencampuran dilakukan dengan horizontal ball mill (BPR 10:1) pada 90 rpm selama 8 jam. Variasi matriks sebesar 25%, 29%, dan 33%, dengan tekanan kompaksi panas 5100, 5400, dan 5700 Psi selama 10 menit. Uji densitas mengacu pada ASTM B962-17 dan uji kekerasan pada ASTM E110-14. Sebelum sintering, kekerasan tertinggi 154 HB dan densitas 1,308 g/cm³ pada tekanan 5700 Psi dengan matriks 25%. Setelah sintering, kekerasan meningkat menjadi 216 HB dan densitas menjadi 2,120 g/cm³ pada kondisi yang sama.

Kata Kunci: Kampas Rem; Komposit; Metalurgi Serbuk; Uji Kekerasan; Uji Densitas.

1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan dunia otomotif komponen yang paling sering digunakan adalah kampas rem. Dikarenakan komponen kampas rem sering ditandai dengan permintaan konsumen dari segi kualitas dan pemakaian prodak. Sebagai salah satu komponen yang paling krusial dalam dunia

industri otomotif, disebabkan komponen tersebut berfungsi sebagai menghentikan laju sebuah kendaraan.[1] Dalam proses operasionalnya komponen kampas rem mampu menyerap energi kinetik yang dihasilkan ketika proses pengereman berlangsung sehingga dapat mengendalikan kendaraan yang sedang melaju.[2]

Awalnya kampas rem yang diproduksi secara massal mayoritas pembuatan kampas rem menggunakan 60% asbestos sebagai bahan dasar utama untuk pembuatan kampas rem. Material tersebut kemudian dipadukan dengan penguat lainnya seperti resin, bahan aditif untuk memperbaiki sifat gesekan, filler atau bahan pengisi, serta partikel serbuk logam, serpihan keramik, dan serpihan karet.[3] Meskipun penggunaan bahan asbestos masih tergolong banyak digunakan dalam pembuatan kampas rem yang ada di pasaran, akan tetapi material asbestos tidak ramah terhadap lingkungan dan orang-orang yang ada disekitar. Disebabkan material asbestos mengandung zat-zat yang berbahaya seperti karsinogenik yang apabila disaat kampas rem bergesekan dengan piringan cakram akan menghasilkan debu asbes yang berbahaya yang apabila tehirup oleh paru-paru manusia. Hal ini berpotensi memicu gangguan pernapasan pada paru-paru yang dapat memicu kanker.[4]

Oleh karena penggunaan bahan asbestos yang berbahaya bagi lingkungan dan orang-orang disekitar. Sebanyak 67 Negara telah melarang penggunaan bahan asbestos dan tidak dianjurkan lagi untuk penggunaan bahan lebih lanjut. Akibatnya diperlukan bahan alternatif yang tidak mengandung bahan asbestos. Salah satunya bahan alternatif yang dipilih adalah *phenolic resin*. [5]

Penggunaan material *phenolic resin* merupakan material komposit yang paling sering digunakan pada saat ini, hal ini

didukung dengan banyaknya jumlah produksi yang telah mencapai lebih dari 6 juta ton/tahun.[6] Selain popularitasnya yang banyak digunakan, *phenolic resin* merupakan material pengikat yang berkualitas dalam pembuatan kampas rem komposit. Keunggulan yang diberikan mampu mempertahankan struktur pada suhu tinggi sebesar 250°C saat terjadinya pergesekan pada komponen rem.[7] Selain memiliki keunggulan yang tahan terhadap panas, *phenolic resin* memiliki karakteristik yang unik seperti tahan terhadap suhu thermal yang tinggi, kekuatan mekanik yang baik, serta tahan terhadap air dan cairan asam.[8]

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan serbuk *phenolic resin* yang telah dihaluskan menggunakan penumbuk. Kemudian hasil pengujian komposisi kimia serbuk *phenolic resin* yang dilakukan di Laboratorium Logam Ceper. Diperoleh ukuran partikel serbuk yang telah dianalisis menggunakan metode uji Particle Size Analyzer didapatkan ukuran serbuk sebesar D50:78,49 μm gambar 5. Terdapat lima jenis bahan yang digunakan diantaranya *Phenolic resin*, Aluminium, Pasir Siika, Kuningan, Boiler Fly-Ash yang masing-masing varian fraksi berat yang berbeda. Komposisi setiap bahan memiliki fraksi berat yang berbeda-beda sesuai dengan variabel yang telah ditetapkan dan dapat dilihat pada tabel 1.

Table 1. Komposisi Bahan Kampas Rem Komposit

Phenolic	Aluminium	SiO ₂	Cu-Zn	Boiler Fly-Ash
25	20	20	27,5	7,5
29	17,5	17,5	26,5	9,5
33	16,75	16,75	25,15	8,35

Penelitian ini melibatkan dua variabel utama yaitu variasi matrik PR 25%, 29%, dan 33% dengan membutuhkan 35 gr untuk masing-masing tiap sampel. Kemudian untuk variasi kompaksi panas sebesar 5100 Psi, 5400 Psi, dan 5700 Psi dengan suhu penekanan 30°C dengan waktu penahanan selama 10 menit. Proses pembuatan komponen kampas rem dilakukan dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Proses metalurgi serbuk ini meliputi tiga tahapan utama yaitu pencampuran serbuk (mixing), penekanan (kompaksi), dan sintering. Pada tahap proses pencampuran

dilakukan pemaduan mekanik menggunakan *Ball Mill Machine* dengan parameter *Ball Powder Weight Ratio* (BPR) sebesar 10:1, waktu penggilingan selama 4 jam serta kecepatan putaran sebesar 90 rpm. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh campuran serbuk yang lebih homogen dan juga merata. Pada tahapan selanjutnya, serbuk yang telah tercampur secara merata diproses melalui metode penekanan panas (*Hot Compaction*) di kombinasikan menggunakan alat pemanas (*Thermocouple*) sebesar 30°C dengan variasi tekanan 5100 Psi, 5400 Psi, dan 5700 Psi ditahan selama 10

menit. Proses kompaksi ini menghasilkan spesimen *green body* yang telah terbentuk menggunakan cetakan spesimen berbentuk ring dengan diameter luar sebesar 50 mm dan diameter dalam sebesar 20 mm sehingga menghasilkan 27 sampel. Variasi kompaksi tersebut diterapkan untuk mengkaji apakah berpengaruh terhadap karakteristik fisik dan mekanik komposit kampas rem, khususnya untuk melihat nilai kekerasan dan densitas. Tahap akhir dari proses metalurgi serbuk

adalah proses sintering yang dilakukan pada suhu 100°C dengan waktu penahanan selama 25 menit. Setelah selesai melakukan proses sintering langkah selanjutnya melakukan penghalusan pada permukaan sampel komposit menggunakan kertas pasir agar memperoleh permukaan yang halus dan rata serta ketebalan yang memenuhi standar pengujian.



Gambar 1. Proses Mixing Menggunakan Ball Mill Machine



Gambar 2. Proses Kompaksi Menggunakan Mesin Press Hidrolic



Gambar 3. Proses Sintering Menggunakan Oven

Dalam penelitian ini matriks yang digunakan adalah *phenolic* resin yang diperkuat dengan aluminium, pasir silika,

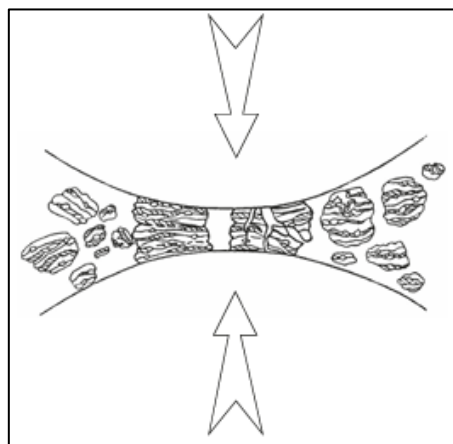
kuningan, serta *boiler fly-ash*. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kekerasan berdasarkan standar ASTM E110-14 menggunakan alat uji

kekerasan *brinell* serta pengujian debsitas mengacu pada standar ASTM B962-17. Melalui penerapan metode pengujian tersebut. Komponen kampsan rem komposit akan dievaluasi sesuai dengan persyaratan dan ketentuan yang telah ditetapkan sesuai dengan standar pengujian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari proses pemaduan mekanik (*Mechanical Alloying*) menghasilkan campuran serbuk aluminium, pasir silika, dan kuningan sebagai fase penguat, serta *boiler fly-ash* yang berperan sebagai bahan pengisi

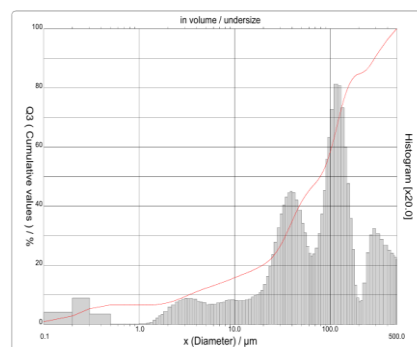
(*filler*). Seluruh material tersebut telah mengalami proses *milling* selama 8 jam dengan parameter perbandingan bola baja (*Ball Powder weight Ratio*) sebesar 10:1 dengan massa bola baja 40, 65, 110 gr. Dengan setiap variasi matriks sebesar 25%, 29%, dan 33% memerlukan berat serbuk sebesar 35gr untuk 27 spesimen. Selama proses pemaduan mekanik berlangsung akan terjadi mekanisme pengelasan dingin (*cold welding*) yang menggabungkan proses penumbukan, penghalusan, serta benturan berenergi tinggi antar bola baja, sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4.



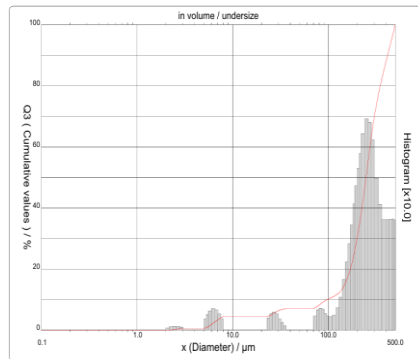
Gambar 4. Proses *Mechanical Alloying* terjadinya Pengelasan Dingin (*Cold Welding*)

Dengan metode *mechanical alloying* dapat memperoleh interaksi mekanis antar serbuk matrik dan penguat sehingga memungkinkan pencampuran yang dihasilkan dapat lebih homogen dari pada metode proses pencampuran konvensional. Berdasarkan hasil karakteristik pengujian *Particle Size Analyzer* yang dilakukan di Laboratorium

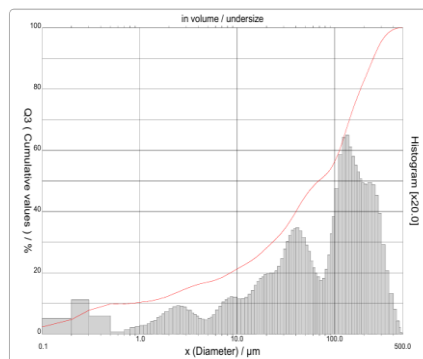
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang menunjukkan ukuran rata-rata serbuk penguat aluminium D50:247,66 μm gambar 6, pasir silika D50:68,62 gambar 7, kuningan D50:159,10 gambar 8, serta boiler fly-ash D50:81,52 gambar 9.



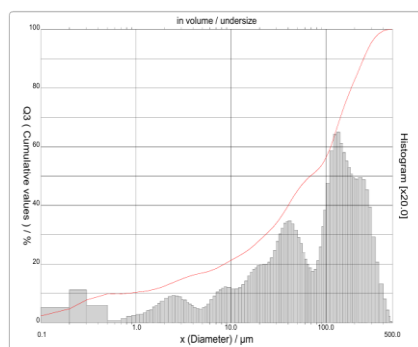
Gambar 5. Uji Particle Size Analyzer Phenolic D50:78,49 μm



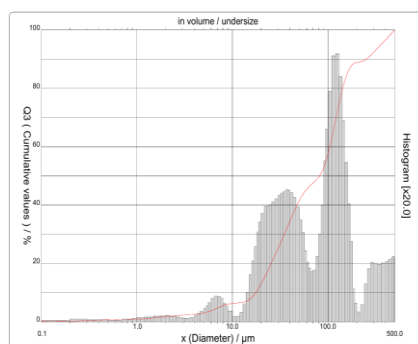
Gambar 6. Uji Particle Size Analyzer Aluminium D50:247,66 μm



Gambar 7. Uji Particle Size Analyzer Pasir silika D50:68,62 μm



Gambar 8. Uji Particle Size Analyzer Kuningan D50:159,10 μm



Gambar 9. Uji Particle Size Analyzer Boiler Fly-Ash D50:81,52 μm

Sampel kampak rem komposit berbentuk ring dengan diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm, sedangkan untuk tinggi spesimen 15–25 mm tergantung dari

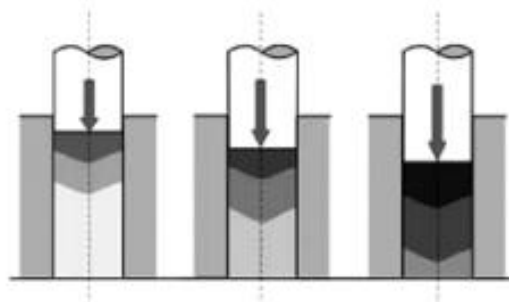
variasi matrik dan tekanan kompaksi yang diberikan. Pada penelitian ini diterapkan teknik kompaksi panas (Hot Compressing) dengan sistem penekanan satu arah dapat

dilihat pada gambar 10., dengan varian kompaksi 5100 Psi, 5400 Psi, dan 5700 Psi. Penerapan tekanan kompaksi bertujuan untuk meningkatkan kekuatan mekanik spesimen. Hal ini memungkinkan partikel serbuk terdorong dan mengisi celah kosong antar

partikel serta dapat menurunkan porositas sehingga mampu mendapatkan densitas yang lebih tinggi. Hasil pemadatan melalui kompaksi panas satu arah ditampilkan pada gambar 11.



Gambar 10. Hasil 27 Spesimen selesai perlakuan kompaksi

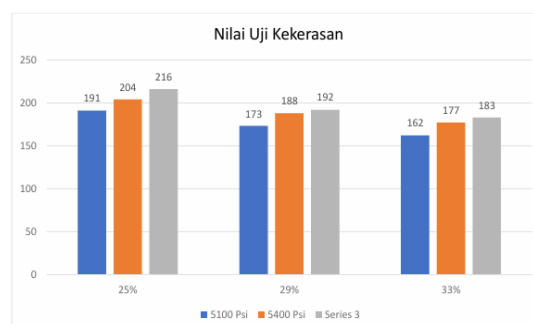


Gambar 11. Penekanan Kompaksi Satu Arah

3.1 Hasil Uji Nilai Kekerasan

Pengujian kekerasan ini mencakup karakterisasi mekanik terhadap dua puluh tujuh komposit kanvas rem dengan standar pengujian ASTM E110-14. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat kekerasan portabel (*portable hardness tester*)

dengan diberi gaya tekanan sebesar 2 kg, indenter bola baja yang digunakan berdiameter 2mm. Untuk setiap spesimen uji akan di ukur kekerasannya pada tiga titik bidang permukaan yang berbeda. Diperoleh nilai grafik pengaruh matrik dan tekanan kompaksi terhadap sifat kekerasan pada komponen kanvas rem komposit.



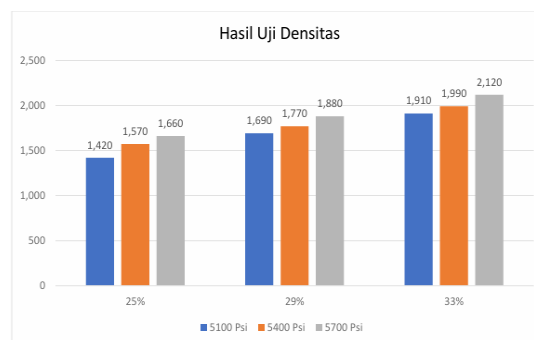
Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

Berdasarkan hasil grafik terhadap sampel uji kekerasan diatas setelah proses kompaksi menggunakan pendekatan ASTM

E110-14 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada komposisi matrik 25% dan tekanan kompaksi panas 5700 Psi dengan

rata-rata kekerasan 216 HB. Sebaliknya kekerasan terendah diperoleh pada komposisi matrik 25% dan tekanan kompaksi panas sebesar 5100 Psi dengan rata-rata kekerasan 162 HB. Berdasarkan data grafik diatas dapat disimpulkan perbedaan variasi matrik dan tingkat tekanan kompaksi panas yang diberikan dapat mempengaruhi nilai kekerasan kanvas rem komposit. Semakin rendah persentase matrik yang digunakan maka akan memberikan pengaruh yang signifikan pada nilai kekerasan kanvas rem, sebaliknya semakin tinggi dapat menghasilkan material yang lebih keras dikarenakan adanya perubahan mikrostruktur atau ikatan antar serbuk (*interlocking*) akibat dari peningkatan tekanan pada saat proses kompaksi

3.2 Hasil Uji Nilai Densitas



Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Densitas

Berdasarkan hasil grafik terhadap sampel uji densitas diatas setelah proses kompaksi menggunakan pendekatan ASTM B962-17 dengan menerapkan hukum *archimedes* menunjukkan nilai densitas tertinggi diperoleh pada komposisi matrik 33% dan tekanan kompaksi panas sebesar 5700 Psi memperoleh nilai densitas 2,120 g/cm³. Sebaliknya densitas terendah diperoleh pada komposisi matrik 25% dan tekanan kompaksi panas sebesar 5100 Psi memperoleh nilai densitas 1,420 g/cm³. Berdasarkan data grafik diatas dapat disimpulkan terlihat bahwa kedua variabel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kanvas rem komposit. Hal ini dikarenakan banyaknya persentase matrik yang diaplikasikan dapat memberikan ikatan mekanik yang baik saat diberikan tekanan kompaksi panas. Hal ini disebabkan besarnya tekanan kompaksi panas yang diberikan dapat membuat benda menjadi padat dikarenakan pada saat kompaksi panas serbuk matrik akan meleleh dan mengisi celah kosong antar serbuk yang

Pengujian densitas komponen kanvas rem komposit dilakukan berdasarkan standar pengujian ASTM B962-17. Metode yang digunakan didasarkan menggunakan hukum *archimedes*, dimana teori ini berlaku pada proses penimbangan sampel kering dan basah setiap varian sampel. Prinsip ini secara khusus digunakan untuk melihat pengukuran perpindahan volume atau metode mengapung, apung, dan tenggelam untuk sampel padat. Uji densitas dilakukan penimbangan kering dan penimbangan basah kedalam cairan aquadest untuk melihat perpindahan volume untuk setiap spesimen. Diperoleh nilai grafik pengaruh varian matrik dan tekanan kompaksi terhadap sifat kekerasan pada komponen kanvas rem komposit.

mengakibatkan naiknya kepadatan spesimen sehingga turunya nilai porositas.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang didapat, pengujian kekerasan dan densitas pada sampel kanvas rem komposit dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi persentase matrik dan tingginya tekanan kompaksi panas dapat memberikan pengaruh yang signifikan yang mampu membuat serbuk saling terikat serta meningkatkan sifat mekanik material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Syahrizal, A. Budi, and A. Wanto, "AMC Brake Pad Engineering: The Role of Reinforcement , Silica Sand , and Boiler Fly Ash on Friction Coefficient and Density," vol. 11, no. 01, pp. 28–33, 2025.
- [2] K. D. Langga, M. Sabri, A. Hamsi, S. Abda, and Indra, "Pembuatan Dan

- Analisa Sifat Mekanik Komposit Dengan Penguat Abu (Fly Ash) Cangkang Sawit Untuk Bahan Kampas Rem Sepeda Motor,” no. 1, pp. 57–70, 2019.
- [3] F. Yudhanto, S. A. Dhewanto, and S. W. Yakti, “Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati,” *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–27, 2019, doi: 10.18196/jqt.010104.
- [4] I. W. Widiarta, I. W. P. Nugraha, and K. R. Dantes, “Komposit Berpenguat Serat Alam Batang Kulit Waru (Hibiscus Tiliaceust) Dengan Matrik Polyester,” *J. Jur. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 1–17, 2017, [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20180416031047id_/https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJTM/article/viewFile/11411/7312
- [5] I. A. Wahyudie, Y. Oktriadi, and R. Irwansyah, “Fabrication of Aluminium Matrix Composite Powder Reinforced with Silicon Dioxide Tailings for Non-Asbestos Brake Pads (NOB),” vol. 10, no. 10, pp. 7696–7704, 2024, doi: 10.29303/jppipa.v10i10.9208.
- [6] A. Asraf, A. L. Juwono, B. Hayatul Jihad, and Y. N. Thaha, “Thermo-Viscous Properties of Phenolic Resin with Different Formaldehyde to Phenol Molar Ratio,” pp. 34–45, 2024, doi: 10.24252/al-kimia.v12i2.50494.
- [7] I. O. P. C. Series and M. Science, “Effect of Phenolic Resin on Density , Porosity , Hardness , Thermal Stability , and Friction Performance as A Binder in Non-Asbestos Organic Brake Pad Effect of Phenolic Resin on Density , Porosity , Hardness , Thermal Stability , and Friction Performance,” 2019, doi: 10.1088/1757-899X/547/1/012012.
- [8] M. Asim, N. Saba, M. Jawaid, and M. Nasir, “A review on Phenolic resin and its Composites A Review on Phenolic Resin and its Composites,” no. October, 2017, doi: 10.2174/1573411013666171003154410.
- [9] Reem Salam, Lakshmpriya Ravindran, Meyyarappallil Sadasivan Sreekala and Sabu Thomas." A Review on Phenol-Formaldehyde Biocomposites".
- [10] Arif Nurudin." Potensi Pengembangan Komposit Berpenguat Serat Kulit Waru (Hibiscus Tiliaceus) Kontinyu Laminat Sebagai Material Pengganti Fiberglass Pada Pembuatan Lambung Kapal". INFO TEKNIK, Volume 12 No. 2, Desember 2011.