

# Optimisasi Kekerasan Komposit Alami Dengan Penguat Serat Kelapa dan Alumina Menggunakan Metode Taguchi

Komang Widhi Widantha\*

Politeknik Negeri Bali, Jl. Raya Uluwatu No.45, Jimbaran, 8036 Bali, Indonesia

\*Penulis korespondensi, Surel: komangwidhi@pnb.ac.id

Paper received: 03-01-2023; revised: 15-01-2023; accepted: 30-01-2023

## Abstract

Composite with natural fiber reinforcement is one of the materials that has rapidly developed due to its environmentally friendly nature. This study examines the hardness properties of polyester composite with coconut fiber reinforcement and alumina particle filler. The study aims to find the optimal values of the percentage composition of coconut fiber, concentration of NaOH in alkali treatment, and alumina composition that produces the highest composite hardness value. The Taguchi method is used to optimize these parameters using an orthogonal array  $L_9$  ( $3^3$ ). The results of this study show that the optimal percentage of coconut fiber is 50%, the optimal concentration of NaOH is 5%, and the optimal alumina composition is 10%. This study also obtained the percentage of influence of each independent variable, which is 83.31% for coconut fiber, 13.37% for alumina composition, and 2.69% for NaOH concentration. These findings can provide new knowledge in the development of natural composites with high hardness, which can be used in various engineering applications.

**Keywords:** composite; bamboo fiber; alumina; mechanical properties

## Abstrak

Komposit dengan penguat serat alami merupakan salah satu material yang mengalami perkembangan pesat karena sifatnya yang ramah lingkungan. Penelitian ini mempelajari sifat kekerasan dari komposit polyester dengan penguat serat kelapa dan pengisi partikel alumina. Studi ini bertujuan untuk mencari nilai optimal dari persentase komposisi berat serat kelapa, konsentrasi NaOH pada perlakuan alkali, dan komposisi alumina yang menghasilkan nilai kekerasan komposit tertinggi. Metode Taguchi digunakan untuk mengoptimalkan parameter-parameter tersebut dengan menggunakan *array ortogonal*  $L_9$  ( $3^3$ ). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa persentase berat serat kelapa yang optimal adalah 50%, konsentrasi NaOH optimal adalah 5% dan komposisi alumina yang optimal adalah 10%. Penelitian ini juga mendapatkan persentase pengaruh dari masing-masing variabel bebas, yaitu 83,31% untuk berat serat kelapa, 13,37% untuk komposisi alumina dan 2,69 % untuk konsentrasi NaOH. Temuan ini dapat memberikan pengetahuan baru dalam dan pengembangan komposit alami dengan kekerasan yang tinggi, sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi keteknikan.

**Keywords:** komposit; serat kelapa; alumina; kekerasan

## 1. Pendahuluan

Indonesia menyadari pentingnya kemajuan penelitian di bidang ilmu dan teknik material sebagai sarana untuk mendorong pengembangan ekonomi, inovasi teknologi, dan lingkungan berkelanjutan. Hal ini tertuang dari Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045, dimana salah satu dari 10 prioritas riset nasional adalah riset material maju. Salah satu tema dari riset ini adalah teknologi eksplorasi potensi material baru, dimana para peneliti mencari alternatif material yang memiliki sifat yang lebih superior namun tetap ramah lingkungan dibandingkan dengan material yang telah umum digunakan saat ini. Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan bahan-bahan maju terus dilakukan meliputi komposit, keramik, dan logam untuk mengatasi berbagai kebutuhan masyarakat dan industri. Khususnya pada bidang komposit, peningkatan permintaan untuk bahan-bahan yang berkelanjutan mengarah pada

pengembangan komposit alami yang menawarkan sifat kekerasan yang lebih baik dan ramah lingkungan. Komposit alami dengan kekerasan yang tinggi diharapkan digunakan pada berbagai aplikasi seperti otomotif, industri, dan konstruksi (Latief et al., 2019; Tarsono & Rahmalina, 2021).

Komposit merupakan suatu golongan material hasil kombinasi dua material yang berbeda atau lebih. Masing-masing material penyusun komposit memiliki sifat yang berbeda-beda sehingga dihasilkan material baru dengan sifat gabungan dari material penyusunnya. Material komposit terdiri dari matriks yang umumnya berupa polimer dan penguat yang umumnya berupa serat (Gibson, 2016). Saat ini, pengembangan komposit mengarah pada penggunaan serat alami sebagai penguat dari matriks polimer. Serat alami merupakan serat yang didapatkan secara langsung dari alam melalui proses ekstraksi, yang umumnya berasal dari tumbuhan. Untuk meningkatkan ikatan antara serat alami dengan matriks, perlakuan alkali umumnya dilakukan yaitu melalui perendaman pada larutan NaOH. Beberapa penelitian menunjukkan perlakuan alkali serat dapat meningkatkan sifat mekanik komposit yang dihasilkan, seperti kekuatan tarik, kekuatan fleksural, kekuatan *impact* dan kekerasan (Bochare & Gidde, 2017; Jayabal et al., 2012).

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki berbagai serat alami dari tumbuhan, salah satunya adalah serat kelapa. Kelapa sendiri telah menyebar secara geografis dan dibudidayakan hampir di setiap provinsi di Indonesia. Kelapa menjadi sumber pendapatan utama bagi 6,3 juta petani. Data pada tahun 2018 menunjukkan produksi kelapa sebesar 2,9 juta ton dari 2,6 juta hektar lahan perkebunan kelapa, dengan produktivitas sekitar 1,1 ton/hektar/tahun (Alouw & Wulandari, 2020). Namun demikian, Indonesia masih memiliki variasi produk ekspor kelapa yang rendah, sehingga pengembangan pemanfaatan kelapa harus terus dilakukan.

Oleh karena itu, penelitian ini menyelidiki potensi peningkatan sifat dari komposit alami, yaitu matriks polyester yang diperkuat dengan serat kelapa. Beberapa penelitian telah memberikan gambaran awal bahwa komposit ini berpotensi dikembangkan pada berbagai aplikasi *engineering* karena memiliki sifat mekanik yang baik (Ary Subagia et al., 2018; Islam et al., 2017; Maryanti, 2011; Tarsono & Rahmalina, 2021.). Namun demikian, salah satu aspek yang berpotensi untuk ditingkatkan adalah kekerasan komposit. Peningkatan sifat yang dikaji peneliti adalah melalui penambahan alumina sebagai material pengisi (*filler*) yang diharapkan dapat meningkatkan kekerasan dari komposit. Alumina ( $Al_2O_3$ ) merupakan material keramik yang telah umum digunakan di industri karena harga yang murah, tidak beracun, stabil, *inert*, tahan korosi tinggi, dan tahan suhu tinggi (Latief et al., 2019). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penambahan partikel keramik ke dalam matriks polimer berhasil meningkatkan kekuatan dan kekerasan komposit polimer (Farhan & Hussein, 2020; Natrayan et al., 2022).

Lebih lanjut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan sifat kekerasan komposit menggunakan metode Taguchi. Metode Taguchi merupakan pendekatan statistik yang menyediakan pendekatan yang efisien dan efektif untuk merancang eksperimen sehingga dapat mengoptimalkan sifat komposit (Navaneethkrishnan & Athijayamani, 2015). Dengan memvariasikan tingkat faktor yang dapat dikontrol seperti persentase berat serat kelapa dan alumina, serta kadar NaOH yang digunakan saat perlakuan alkali, metode Taguchi dapat mengidentifikasi pengaturan optimal yang menghasilkan sifat kekerasan terbaik dari komposit. Kekerasan komposit dipilih sebagai variabel terikat, sedangkan

variabel bebas adalah persentase berat serat kelapa, konsentrasi NaOH pada perlakuan alkali, dan komposisi alumina.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium untuk mendapatkan data-data hasil pengujian dengan bantuan *software* analisis *Minitab Statistical Software*. Penelitian dilakukan dengan menerapkan desain metode Taguchi untuk menghasilkan penelitian yang efisien dan parameter komposit yang optimal. Pada penelitian ini, digunakan 3 faktor dan 3 level seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Variabel faktor penelitian dan level**

No	Faktor	Satuan	Level		
			1	2	3
1	Komposisi persen berat serat kelapa	Wt. %	10	25	50
2	Konsentrasi NaOH	%	0	5	15
3	Komposisi persen berat alumina	Wt. %	0	5	10

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin polyester, katalis, serat kelapa, serbuk alumina, dan NaOH. Resin polyester yang digunakan merupakan jenis *Unsaturated Polyester Resin* dengan warna bening dengan merk *SHCP*. Serat kelapa didapatkan dari proses pemisahan secara manual dengan tangan yang kemudian dibersihkan dan dipotong hingga berukuran 1-2 cm. Partikel alumina yang berbentuk serbuk dengan ukuran sekitar 74 mikron ditambahkan untuk meningkatkan sifat kekerasan komposit. Larutan NaOH digunakan pada proses perendaman serat kelapa selama 2 jam untuk meningkatkan daya lekatnya dengan matriks. Sampel-sampel dipersiapkan dengan menggunakan cetakan dan agen pelepas untuk mencegah lengket dengan cetakan.



**Gambar 1. Serat kelapa dan sampel pengujian kekerasan**

Komposit dibuat dengan mencampurkan resin polyester, serat kelapa, dan partikel alumina pada cetakan yang telah disiapkan. Parameter masing-masing sampel disesuaikan dengan orthogonal array sesuai desain Metode Taguchi, yaitu  $L_9 (3^3)$ . Melalui *software* Minitab, didapatkan 9 jenis sampel yang harus dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

**Design Summary**

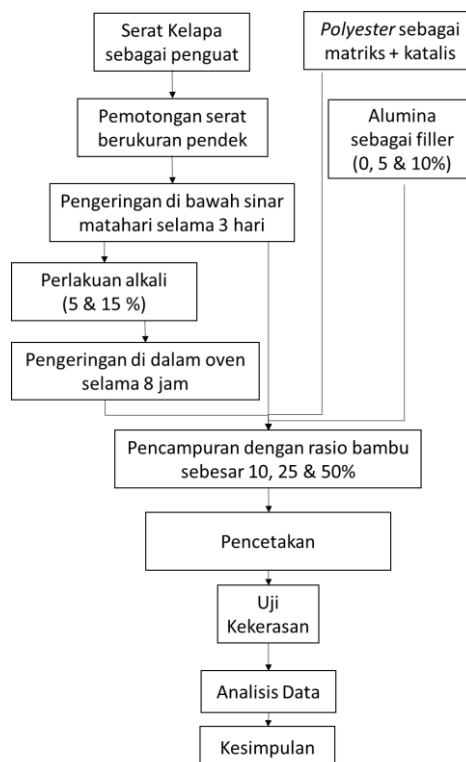
Taguchi Array L9(3<sup>3</sup>)  
 Factors: 3  
 Runs: 9

Columns of L9(3<sup>4</sup>) array: 1 2 3

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
Serat (wt.%)	10	0	0											
NaOH (%)	10	5	5											
Alumina (wt.%)	10	15	10											
Kekerasan (HV)	25	0	5											
	25	5	10											
	25	15	0											
	50	0	10											
	50	5	0											
	50	15	5											

Gambar 2. Orthogonal array L<sub>9</sub> (3<sup>3</sup>) pada software Minitab

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan *Universal Digital Hardness Tester* dengan merk MT 410 EdlabQuip. Pengujian ini dilakukan dengan menerapkan gaya tekan melalui beban indentor pada permukaan material dan mengukur kedalaman indentasi yang dihasilkan. Hasil pengujian kemudian diolah menggunakan metode Taguchi pada *software Minitab*, dengan menggunakan perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Karakteristik SNR yang digunakan adalah *Larger is Better*, yang berarti optimasi pada produk digunakan untuk mendapatkan nilai kekerasan yang paling tinggi. Secara lebih jelas, diagram alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alur penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

Data kekerasan sampel material komposit disajikan pada Tabel 2. Data disusun berdasarkan desain Metode Taguchi, yaitu matriks *orthogonal array* L<sub>9</sub> (3<sup>3</sup>). Kekerasan untuk setiap variasi diukur masing-masing sebanyak tiga kali pengukuran. Data ini kemudian dimasukkan pada aplikasi Minitab untuk selanjutnya dilakukan analisis data.

**Tabel 2. Hasil Pengukuran Kekerasan Komposit**

No	Komposisi serat kelapa (wt.%)	Konsentrasi NaOH (%)	Komposisi alumina (wt.%)	Hasil Pengujian Kekerasan (HV)		
				Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	10	0	0	21,3	20,4	23,9
2	10	5	5	25,3	26,3	23,4
3	10	15	10	20,3	19,4	22,2
4	25	0	5	27,3	29,2	26
5	25	5	10	25,5	24,6	27,4
6	25	15	0	24,9	25,9	27,5
7	50	0	10	28,3	27,1	29
8	50	5	0	31,5	27,2	29,7
9	50	15	5	31,8	28,9	29,7

Analisis data pada menggunakan metode Taguchi diawali dengan perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Karakteristi

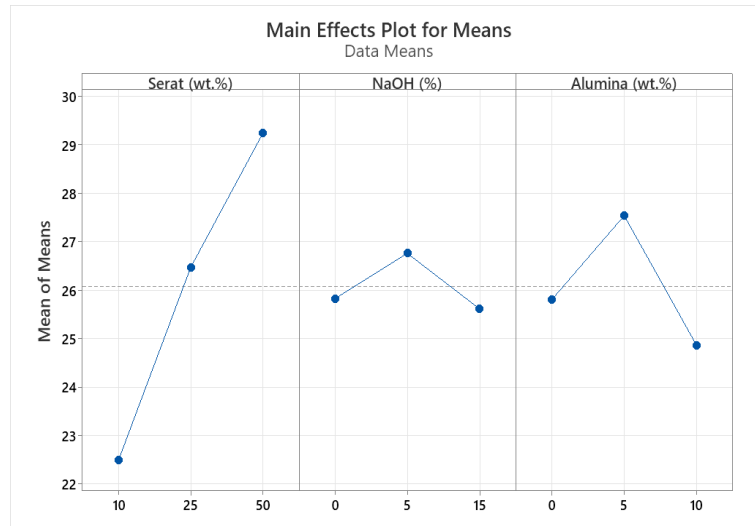
k kualitas yang ditetapkan pada penelitian ini adalah *Larger is Better*, yang berarti semakin tinggi angka yang didapatkan maka kualitasnya semakin baik. Hal ini sesuai dengan tujuan penelitian yaitu untuk mencari nilai kekerasan komposit yang paling tinggi. SNR dengan kualitas yang telah ditetapkan ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$SNR = -10 \times \text{Log} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

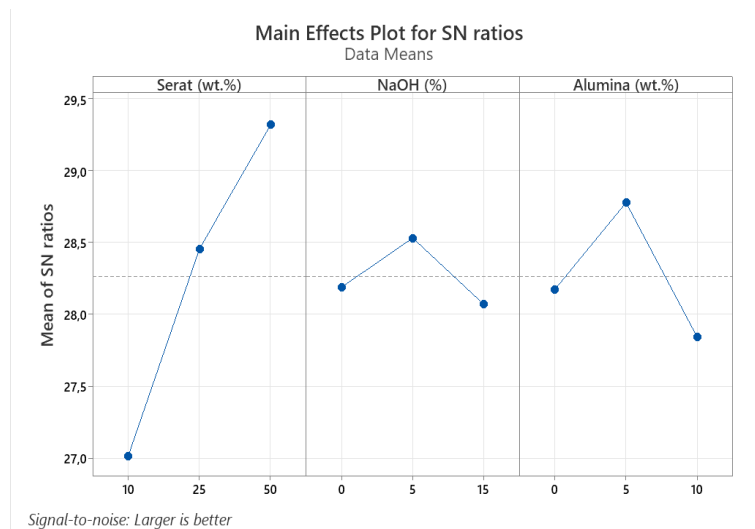
Dengan menggunakan perintah “*Analyze Taguchi Design*”, didapatkan nilai SNR seperti pada Tabel 3. Selain itu, ditampilkan juga grafi efek setiap faktor untuk rata-rata dan SNR pada Gambar 4 dan Gambar 5.

**Tabel 3. Nilai rata-rata kekerasan dan *Signal to Noise Ratio***

No	Komposisi serat kelapa (wt.%)	Konsentrasi NaOH (%)	Komposisi alumina (wt.%)	Nilai rata-rata Kekerasan (HV)	Signal to Noise Ratio
2	10	5	5	25,0	27,9588
3	10	15	10	20,6	26,2914
4	25	0	5	27,5	28,7867
5	25	5	10	25,8	28,2436
6	25	15	0	26,1	28,3328
7	50	0	10	28,1	28,9844
8	50	5	0	29,5	29,3866
9	50	15	5	30,1	29,5809



Gambar 4. Grafik *Main Effects Plot* untuk rata-rata



Gambar 5. Grafik *Main Effects Plot* untuk Signal to Noise Ratio

Berdasarkan grafik tersebut, maka dipilih nilai SNR yang paling tinggi, sesuai dengan karakteristik *Larger is Better* yang menunjukkan kekerasan komposit paling tinggi. Dengan demikian, parameter yang dipilih untuk mendapatkan kekerasan paling tinggi adalah komposisi serat sebesar 50%, komposisi alumina sebesar 5% dan konsentrasi NaOH pada proses perendaman sebesar 5%.

Tabel 4. Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Serat (wt.%)	2	68,9647	83,31%	68,9647	34,4823	132,56	0,007
NaOH (%)	2	2,2254	2,69%	2,2254	1,1127	4,28	0,189
Alumina (wt.%)	2	11,0669	13,37%	11,0669	5,5335	21,27	0,045
Error	2	0,5202	0,63%	0,5202	0,2601		
Total	8	82,7773	100,00%				

Analisis ANOVA dilakukan dengan menggunakan *General Linear Model* untuk mendapatkan persentase kontribusi dari masing-masing faktor terhadap kekerasan komposit. Hasil analisis ANOVA disajikan pada Tabel 4. Faktor yang memiliki kontribusi paling tinggi terhadap kekerasan komposit adalah komposisi serat yang digunakan, yaitu 83,31%, kemudian komposisi alumina dengan kontribusi 13,37%, dan yang paling rendah adalah konsentrasi NaOH yaitu 2,69%. Pengaruh komposisi serat pada penelitian ini sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai kekerasan komposit dengan penguat serat alami, dimana semakin tinggi fraksi serat yang digunakan, maka kekerasan komposit akan semakin meningkat (Bochare & Gidde, 2017; Ilmu Purboputro, 2016). Pada penelitian ini, penambahan 5% alumina menghasilkan kekerasan komposit yang semakin tinggi, namun menurun pada komposisi alumina yang lebih tinggi. Secara umum, penambahan partikel alumina yang lebih keras dibandingkan matriks dapat meningkatkan kekuatan komposit (Farhan & Hussein, 2020). Penurunan kekerasan pada komposisi alumina yang lebih tinggi kemungkinan diakibatkan karena persebaran alumina yang tidak merata sehingga kualitas komposit menjadi menurun. Pada penelitian ini juga didapatkan konsentrasi NaOH yang tinggi dapat menurunkan kekerasan komposit. Fenomena yang sama juga didapatkan pada penelitian lain, yang dikarenakan penurunan kekuatan serat akibat pemisahan kumpulan *microfibril* pada serat (Maryanti, 2011).

#### 4. Simpulan

Metode Taguchi digunakan untuk membuat desain eksperimen yang lebih efisien dalam mendapatkan parameter optimal suatu produk. Pada penelitian ini, setelah melakukan analisis menggunakan *software Minitab*, didapatkan bahwa persentase berat serat kelapa yang optimal adalah 50%, konsentrasi NaOH optimal adalah 5% dan komposisi alumina yang optimal adalah 10%. Melalui Analisis ANOVA dengan menggunakan *General Linear Model*, didapatkan persentase pengaruh dari masing-masing variabel bebas, yaitu 83,31% untuk berat serat kelapa, 13,37% untuk komposisi alumina dan 2,69 % untuk konsentrasi NaOH.

#### Daftar Rujukan

- Alouw, J. C., & Wulandari, S. (2020). Present status and outlook of coconut development in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 418(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012035>
- Ary Subagia, I. D. G., Adi atmika, I., Suardana, N., GDS, R., & FS, S. (2018). Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Kekerasan dan Keausan Kampas Rem Berbasis Komposit Hibrida Serbuk Tempurung Kelapa/Alumina/Phenolic Resin. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 11(2), 42. <https://doi.org/10.24843/jem.2018.v11.i02.p02>
- Bochare, R., & Gidde, R. R. (2017). Experimental investigation of hardness value of coir fiber/epoxy resin composite. In *International Journal of Advance Research*. [www.IJARIIT.com](http://www.IJARIIT.com)
- Farhan, A. J., & Hussein, W. A. (2020). effect of alumina contents on some mechanical properties of alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) reinforced polymer composites. *NeuroQuantology*, 18(5), 35–42. <https://doi.org/10.14704/nq.2020.18.5.NQ20165>
- Gibson, R. F. (2016). *Principles of composite material mechanics*. CRC press.
- Ilmu Purboputro, P. (2016). Pengembangan Kampas Rem Sepeda Motor dari Komposit Serat Bambu, fiberglass, Serbuk Aluminium Dengan Pengikat Resin Polyester Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus. *Prosiding Bidang Teknik Dan Rekayasa The 2nd University Research Colloquium*.
- Islam, Md. T., Das, S. C., Saha, J., Paul, D., Islam, M. T., Rahman, M., & Khan, M. A. (2017). Effect of coconut shell powder as filler on the mechanical properties of coir-polyester composites. *Chemical and Materials Engineering*, 5(4), 75–82. <https://doi.org/10.13189/cme.2017.050401>

- Jayabal, S., Sathiyamurthy, S., Loganathan, K. T., & Kalyanasundaram, S. (2012). Effect of soaking time and concentration of naoh solution on mechanical properties of coir-polyester composites. *Bulletin of Materials Science*, 35(4), 567–574. <https://doi.org/10.1007/s12034-012-0334-2>
- Latief, F. H., Chafidz, A., Junaedi, H., Alfozan, A., & Khan, R. (2019). Effect of alumina contents on the physicomechanical properties of alumina (al<sub>2</sub>o<sub>3</sub>) reinforced polyester composites. *Advances in Polymer Technology*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5173537>
- Maryanti, B. (2011). Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik A. As'ad Sonief 2). In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 2, Issue 2).
- Natrayan, L., Kumar, P. V. A., Baskara Sethupathy, S., Sekar, S., Patil, P. P., Velmurugan, G., & Thanappan, S. (2022). Effect of Nano TiO<sub>2</sub> filler addition on mechanical properties of bamboo/polyester hybrid composites and parameters optimized using grey taguchi method. *Adsorption Science and Technology*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6768900>
- Navaneethakrishnan, S., & Athijayamani, A. (2015). Taguchi method for optimization of fabrication parameters with mechanical properties in fiber and particulate reinforced composites. *International Journal of Plastics Technology*, 19(2), 227–240. <https://doi.org/10.1007/s12588-015-9128-x>
- Tarsono, Y. P., & Rahmalina, D. (2021). Pengaruh karbon aktif dan serbuk tempurung kelapa matrik aluminum terhadap kekerasan brake pad komposit. In *Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin* (Vol. 11, Issue 2).