

## UJI FUNGSIONAL DAN ANALISIS VALIDASI ALAT UJI PUTARAN KRITIS POROS DENGAN BEBAN

Okki Khusnul Mahmudin<sup>1\*</sup>, Muhamad Fitri<sup>1)</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

\*e-mail: okkimahmudin@gmail.com

### ABSTRAK

Poros berfungsi untuk meneruskan daya dari satu komponen ke komponen lain. Saat poros bekerja dengan beban, akan terjadi suatu getaran yang dapat menyebabkan defleksi. Saat keadaan defleksi maksimum terjadi pada poros, hal ini disebut putaran kritis poros. Untuk itu, dibuatlah alat uji putaran kritis agar diketahui pada kecepatan berapa putaran kritis terjadi pada poros tersebut. Supaya alat uji dapat berfungsi dengan baik, maka dilakukan pengujian fungsional dan analisis validasi pada alat uji tersebut. Pengujian fungsional dan analisis validasi dilakukan untuk mengetahui bahwa alat uji putaran kritis dapat berfungsi dengan baik atau tidak dan nilai hasil pengukurannya valid atau tidak. Pengujian fungsional dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran antara nilai pembacaan sensor alat uji putaran kritis poros dengan nilai pembacaan alat ukur lain dan nilai putaran kritis dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari perhitungan berdasarkan teori yang berlaku. Sedangkan, analisis validasi dilakukan pada hasil pengujian alat uji putaran kritis menggunakan *software* MS Excel untuk mengolah data. Setelah dilakukan pengujian, hasilnya *proximity sensor* dan alat uji putaran kritis dapat berfungsi dengan baik. Untuk analisis validasinya, hasil alat uji putaran kritis ini dinyatakan valid.

**Kata kunci :** *alat uji; defleksi; fungsional; poros; putaran kritis poros; validitas.*

### ABSTRACT

*The shaft serves to transmit power from one component to another. When the shaft works with a load, vibration can cause deflection. When the state of maximum deflection occurs in the shaft, it is called the critical rotation of the shaft. For this reason, a vital rotation test tool is made so that it is known at what speed the necessary rotation occurs on the shaft. For the test tool to function correctly, functional testing and validation analysis are carried out on the test tool. Functional testing and validation analysis are conducted to determine whether the critical rotation test equipment can function correctly and whether the measurement results are valid. Functional testing is carried out by comparing the measurement results between the value of the sensor readings of the critical rotation test tool with the reading values of other measuring instruments and the critical rotation value compared to the values obtained from calculations based on the applicable theory. Meanwhile, validation analysis was carried out on the test results of the essential rotation test tool using MS Excel software to process the data. After testing, the result is that the proximity sensor and critical rotation test equipment can function correctly. The results of this crucial rotation test tool are declared valid for validation analysis.*

**Keywords :** *critical shaft rotation; deflection; functional; shaft; test apparatus; validity.*

### PENDAHULUAN

Poros adalah elemen mesin yang berputar, biasanya berpenampang melingkar dan digunakan untuk meneruskan daya atau gerak. Pada poros tersebut terpasang elemen penerus daya seperti roda gigi (*gear*), *pulley*, roda gila (*flywheel*), engkol (*crank*), *sproket* dan sebagainya (Budynas, Richard G., & Nisbett, 2015).

Pada saat poros melakukan tugasnya sebagai penerus daya, poros berputar bersamaan dengan elemen penerus daya yang terpasang padanya. Dengan adanya elemen penerus daya yang menjadi beban pada poros, hal ini akan mengakibatkan pelendutan (defleksi) pada poros. Defleksi yang terjadi akan mengakibatkan timbulnya getaran dengan frekuensi tertentu. Getaran yang terjadi akan menjadi sangat berbahaya apabila frekuensinya sama dengan

frekuensi alami, karena akan terjadi resonansi yang dapat menyebabkan defleksi yang sangat besar.

Putaran kritis poros merupakan putaran dimana sebuah poros mengalami getaran yang luar biasa besarnya (defleksi maksimum). Untuk itu, poros harus direncanakan sedemikian rupa hingga putaran kerjanya lebih rendah dibanding putaran kritisnya (Sularso & Kiyokatsu, 2004)

Untuk mengetahui nilai putaran kritis dari sebuah poros, maka diperlukan suatu media yang dapat mencari nilai putaran kritis tersebut. Media yang dimaksudkan adalah alat uji putaran kritis poros. Dengan adanya alat ini akan mempermudah pembacaan nilai putaran kritis suatu poros. Alat uji putaran kritis haruslah dapat bekerja dengan baik dan mampu membaca nilai secara akurat. Maka dari itu, sebelum alat uji putaran kritis digunakan perlu dilakukan uji fungsional dan analisis validasi.

Uji fungsional adalah sebuah tindakan pengujian yang dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian komponen-komponen dengan persyaratan fungsional yang ditentukan (*Standar Internasional - Rekayasa Sistem Dan Perangkat Lunak*, 2010). Pengujian fungsional dilakukan dengan cara mengamati selisih nilai pembacaan sensor alat uji putaran kritis poros dengan nilai pembacaan alat ukur lain dan nilai putaran kritis dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari perhitungan berdasarkan teori yang berlaku. Pengujian fungsional yang akan dilakukan pada alat uji putaran kritis poros meliputi: pengujian *proximity sensor* (Rpm) dan pengujian alat uji itu sendiri.

Validitas berasal dari kata *validity* yang berarti keabsahan atau kebenaran. Validitas mempunyai arti sejauh mana ketepatan dan kecermatan alat ukur mampu melakukan fungsi ukurnya (Azwar, 1986). Analisis validasi yang dilakukan pada alat uji putaran kritis poros dengan cara membandingkan antara nilai putaran kritis poros aktual pada alat uji dengan nilai putaran kritis poros berdasarkan teori yang berlaku. Dengan melakukan analisis validasi pada alat uji, diharapkan alat uji tersebut memiliki akurasi pengukuran yang tinggi.

### Putaran Kritis Poros

Bila putaran suatu mesin dinaikan maka pada suatu harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasa besarnya. Putaran ini disebut putaran kritis. Hal ini dapat terjadi pada turbin, motor torak, motor listrik dan lain lain. Dan dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian-bagian lainnya. Jika mungkin, poros harus direncanakan sedemikian rupa

hingga putaran kerjanya lebih rendah dari putaran kritisnya (Sularso & Kiyokatsu, 2004).

Untuk menentukan nilai putaran kritis poros dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini (Desai, A. J., & Patel, 2014):

$$N_c = \frac{30}{\pi} \sqrt{g/\delta} \quad (1)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} N_c &= \text{Putaran kritis (Rpm)} \\ g &= \text{Gravitasi (m/s}^2\text{)} \\ \delta &= \text{Defleksi statik} \end{aligned}$$

Defleksi Poros ( $\delta$ )

$$\delta = \frac{m \cdot g \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (2)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \delta &= \text{Defleksi statik} \\ m &= \text{Massa (kg)} \\ l &= \text{panjang poros (m)} \\ E &= \text{Modulus Young (N/m}^2\text{)} \\ g &= \text{Gravitasi (m/s}^2\text{)} \\ I &= \text{Momen inersia} \\ d &= \text{Diameter poros (m)} \end{aligned}$$

### Uji Fungsional

Uji fungsional (Rochim, 2001) adalah suatu pengujian komponen mesin yang telah dirancang dengan sebaik mungkin dengan memperhatikan aspek fungsi, keterbuatan, keterawatan, dan keandalan. Supaya dapat diketahui apakah komponen-komponen dari alat uji sudah sesuai sebagaimana mestinya atau terdapat penyimpangan-penyimpangan yang melebihi batas dari toleransi yang sudah ditentukan, maka dari itu juga dilakukan pengujian fungsional terhadap alat ukurnya.

Alat ukur kecepatan yang digunakan pada alat uji ini adalah *proximity sensor*, sedangkan untuk defleksi menggunakan *digital indicator*. Pengujian fungsional perlu dilakukan pada *proximity sensor*, karena output dari sensor berupa sinyal analog yang kemudian diolah menjadi digital pada PLC. Maka dari itu, kemungkinan

tingkat kesalahan pembacaan nilai kecepatan amatlah besar. Untuk mengetahui tingkat kesalahan pembacaan *proximity sensor*, perlu sebuah alat ukur lain sebagai data pembandingan. Alat ukur yang dapat digunakan sebagai pembandingan adalah *tachometer*.

### Validitas

Validitas sering diartikan sebagai kesahihan atau ketepatan sebuah alat ukur dalam mengukur objek. Selain itu, validitas dapat juga didefinisikan sebagai salah satu bentuk usaha untuk mengukur seberapa jauh item-item mampu mengukur apa yang benar-benar hendak diukur sesuai dengan konsep yang telah ditetapkan sebelumnya.

Dalam sebuah perencanaan alat uji, tentunya perlu dilakukan sebuah validasi agar alat uji tersebut dapat melakukan fungsinya sebagaimana mestinya dan hasil ukurnya dapat dipercaya. Maka dari itu, alat uji putaran kritis harus dilakukan validasi secara menyeluruh supaya alat uji putaran kritis dapat digunakan sesuai dengan fungsinya dan hasilnya akurat.

### METODE PENELITIAN

Tempat penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Mercu Buana. Waktu pelaksanaannya di mulai pada bulan Maret 2023. Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Alat uji putaran kritis poros  
Alat uji putaran kritis ini menggunakan mesin motor DC 300 watt dan memiliki kecepatan maksimum ( $N_s$ ) = 2750 rpm. *Adjuster* bantalan alat uji putaran kritis juga memiliki jarak minimum 600 mm dan maksimum 1000 mm. poros yang digunakan adalah poros ST41 dengan diameter 16 mm, panjang 700 mm, dan massa 1,1 kg. Rotor atau beban seberat 1,57 kg.



**Gambar 1.** Alat uji putaran kritis

- *Tachometer*
- Laptop
- Alat tulis

### Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional yang akan dilakukan terhadap alat uji putaran kritis meliputi: sensor kecepatan dan fungsional dari alat uji putaran kritis itu sendiri. Berikut adalah prosedur pengujiannya:

#### A. Pengujian Fungsi *Proximity Sensor* (Rpm) Menggunakan Alat Ukur *Tachometer*

Pengujian fungsi ini dilakukan untuk memastikan apakah *proximity sensor* atau sensor putaran berfungsi dengan baik atau tidak. Hal ini dilakukan karena *proximity sensor* merupakan salah satu komponen yang fungsinya sangat penting. Dikatakan penting karena sensor tersebut merupakan pembaca putaran poros pada alat uji putaran kritis yang kemudian hasil pembacaan dari sensor tersebut akan ditampilkan pada monitor. Karena pengujian fungsi yang akan dilakukan berkaitan dengan sensor putaran, maka alat ukur yang akan digunakan adalah *tachometer* untuk memastikan hasil pembacaan sensor tersebut akurat atau tidak. Untuk langkah pengujian pada fungsi *proximity sensor* adalah sebagai berikut:

- Siapkan alat ukur *tachometer* dan pastikan alat tersebut dapat berfungsi dengan baik.
- Letakkan alat ukur *tachometer* disamping ujung *proximity sensor* yang sudah terpasang pada alat uji putaran kritis poros.
- Siapkan alat tulis untuk mencatat hasil nilai pembacaan putaran pada *proximity sensor* dan alat ukur *tachometer*.
- Mulai jalankan alat uji putaran kritis poros. Lakukan langkah pengujian pada putaran 80 rpm, 290 rpm, 530 rpm, 700 rpm, 950 rpm, 1230 rpm, 1480 rpm, 1770 rpm, 2020 rpm dan 2540 rpm.
- Amati hasil dari masing-masing pembacaan putaran dari sensor dan juga dari alat ukur *tachometer* kemudian catat hasilnya.



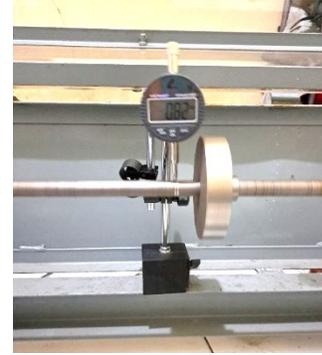
**Gambar 2.** Pengujian fungsional *proximity sensor*

Setelah data kedua alat ukur didapat, selanjutnya data tersebut disajikan pada bentuk tabel agar memudahkan pembacaannya. Kemudian dihitung selisih kedua hasil pengukuran pada masing-masing kecepatan.

#### B. Pengujian Fungsional Alat Uji Putaran Kritis Poros

Pengujian fungsional terhadap alat uji putaran kritis poros dilakukan untuk memastikan apakah alat uji ini berfungsi dengan baik dan benar atau tidak. Pengujian ini dilakukan hanya dengan 1 poros uji saja sebagai spesimen. Hal tersebut dilakukan dengan cara membandingkan nilai putaran kritis yang didapat dari perhitungan teoritis menggunakan rumus putaran kritis dengan hasil nilai pembacaan pada alat uji putaran kritis poros. Apabila hasilnya tidak sesuai maka alat uji putaran kritis poros tersebut tidak berfungsi dengan baik. Untuk langkah pengujian fungsional alat uji putaran kritis poros adalah sebagai berikut:

- Siapkan material poros ST41 dengan diameter 16 mm dan panjang 700 mm.
- Siapkan rotor atau beban 1,3 kg yang telah dilubangi sesuai dengan diameter poros, kemudian pasang pada tengah-tengah poros.
- Pasang poros tersebut pada alat uji putaran kritis poros.
- Hitung nilai putaran kritis dari poros tersebut menggunakan rumus putaran kritis.
- Mulai lakukan pengujian terhadap poros tersebut sebanyak 10 kali.
- Amati hasil pembacaan putaran kritis yang muncul pada monitor, kemudian catat nilai putaran kritis poros tersebut.



**Gambar 3.** Pengujian fungsional alat uji putaran kritis poros

Setelah data nilai putaran kritis didapat, data tersebut disajikan pada bentuk tabel agar memudahkan pembacaannya. Kemudian dihitung selisih nilai hasil pengujian putaran kritis poros yang didapat dari alat uji tersebut dengan nilai hasil perhitungan yang telah dilakukan menggunakan rumus putaran kritis.

#### Analisis Validasi

Parameter yang digunakan dalam analisis validasi adalah hasil pengukuran pada alat uji putaran kritis dengan hasil perhitungan berdasarkan teori. Pengambilan sampel pengukuran alat uji putaran kritis dilakukan sebanyak 10 kali pengujian pada alat uji tersebut. Kemudian setelah data diperoleh, data tersebut dimasukkan pada MS Excel untuk mempermudah dalam pengolahan data. Berikut langkah pengujiannya:

- Siapkan alat uji putaran kritis poros.
- Hitung nilai putaran kritis dari poros tersebut menggunakan rumus putaran kritis.
- Lakukan pengujian putaran kritis poros sebanyak 10 kali.
- Mencatat semua hasil pengujian putaran kritis poros.
- Siapkan halaman kosong pada software MS Excel.
- Masukkan data-data hasil pengujian putaran kritis poros dan hasil perhitungan berdasarkan teori.
- Menentukan nilai validasi dengan rumus:  $\frac{(|\text{nilai teori} - \text{nilai pengujian}|)}{\text{nilai teori}} \times 100\%$ .

Setelah nilai validasi didapatkan, nilai tersebut akan digunakan untuk menentukan nilai pengujian valid atau tidak. Apabila nilai validasi  $> 5\%$ , maka hasil pengukuran alat uji tersebut dinyatakan tidak

valid. Sedangkan, apabila nilai validasi < 5% maka hasil pengukuran alat uji tersebut dinyatakan valid.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengujian Fungsional**

Pengujian fungsional dilakukan untuk mengetahui fungsi dari komponen sensor pada alat uji putaran kritis poros, sekaligus mengetahui bagaimana fungsi dari alat uji itu sendiri. pengujian fungsional dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan dari alat uji putaran kritis poros dengan alat uji lain sebagai pembanding. Pengujian fungsional yang dilakukan adalah sebagai berikut:

**Pengujian Fungsional Proximity Sensor (rpm)**

Hasil pembacaan *proximity sensor* yang terpasang pada alat uji putaran kritis poros tidak dapat dikatakan sesuai apabila belum dilakukan pengujian. Pengujian pada *proximity sensor* dilakukan untuk mengetahui apakah pembacaan sensor kecepatan pada alat uji tersebut berfungsi dengan baik atau tidak. Alat ukur yang digunakan sebagai data pembanding untuk alat pembaca kecepatan putaran adalah *tachometer*. Data hasil pengujian fungsional *proximity sensor* disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data pengujian fungsional *proximity sensor*

No	Sensor (rpm)	Tachometer (rpm)	Deviasi (rpm)
1	80	80	0
2	290	290	0
3	530	531	1
4	700	701	1
5	950	950	0
6	1230	1232	2
7	1480	1480	0
8	1770	1771	1
9	2020	2022	2
10	2540	2542	2

Dari data hasil pengujian fungsional *proximity sensor* pada Tabel 1, hasil pembacaan kecepatan putaran oleh sensor dan pembacaan kecepatan oleh *tachometer* menunjukkan bahwa penyimpangan atau deviasi yang terjadi adalah diantara 0 rpm sampai 2 rpm. Sedangkan, rentang ketelitian dari *proximity sensor* adalah 10 rpm. Jadi, hasil pengukuran *proximity sensor* dapat dikatakan masih dalam batas toleransi.

**Pengujian Fungsional Alat Uji Putaran Kritis Poros**

Sebelum melakukan pengujian pada alat uji putaran kritis, dilakukan terlebih dahulu perhitungan secara teoritisnya. Untuk detail perhitungan secara teoritis dan pengujian pada alat uji putaran kritis disajikan seperti di bawah ini:

A. Nilai Putaran Kritis Poros Berdasarkan Rumus

Defleksi Poros ( $\delta$ )

$$m = 1,1 \text{ kg (poros)} + 1,3 \text{ kg (rotor)} = 2,4 \text{ kg}$$

$$E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$l = 700 \text{ mm} = 0,7 \text{ m}$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot (0,016)^4}{64} = 3,215 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$\delta = \frac{m \cdot g \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

$$\delta = \frac{2,67 \cdot 9,81 \cdot (0,7)^3}{48 \cdot 2 \times 10^{11} \cdot 3,215 \times 10^{-9}}$$

$$\delta = \frac{30864}{8,88315}$$

$$\delta = 0,00029 \text{ m}$$

Setelah didapatkan nilai defleksi statis poros sebesar 0,00029 m, kemudian nilai tersebut digunakan untuk menghitung putaran kritis poros. Putaran Kritis Poros ( $N_c$ )

$$N_c = \frac{30}{\pi} \sqrt{g/\delta}$$

$$N_c = \frac{30}{3,14} \sqrt{9,81/0,00029}$$

$$N_c = 9,55 \times 183,92$$

$$N_c = 1756 \text{ rpm}$$

Jadi, nilai putaran kritis pada poros berdiameter 16 mm, panjang 700 mm dan diberi beban 1,57 kg adalah 1756 rpm.

B. Nilai Putaran Kritis Poros Berdasarkan Alat Uji Putaran Kritis Poros

Setelah didapat nilai putaran kritis poros berdasarkan teoritis, selanjutnya perlu dilakukan pengambilan nilai pembacaan dari alat uji putaran kritis poros. Pengambilan sampel nilai pembacaan alat uji putaran kritis poros dilakukan sebanyak 10 kali. Data pengambilan sampel pada poros berdiameter 16 mm, panjang 700 mm dan diberi beban 1,57 kg disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Data pengujian fungsional alat uji

No	Alat Uji (rpm)	Teoritis (rpm)	Deviasi (rpm)
1	1751	1756	5
2	1754	1756	2
3	1764	1756	8
4	1760	1756	4
5	1775	1756	19
6	1738	1756	18
7	1741	1756	15
8	1748	1756	8
9	1746	1756	10
10	1780	1756	24

Berdasarkan hasil pengambilan sampel pada poros berdiameter 16 mm, panjang 700 mm dan diberi beban 1,57 kg didapatkan putaran kritis terjadi pada kecepatan 1738 sampai 1780. Sedangkan berdasarkan perhitungan teoritis, putaran kritis pada poros terjadi pada kecepatan 1756 rpm. Jadi, deviasi antara hasil pembacaan pada alat uji dan perhitungan teoritis adalah berkisar antara 2 sampai 24. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa alat uji putaran kritis poros secara fungsional belum berfungsi dengan maksimal. Hal ini mungkin terjadi karena *bearing* penopang poros mulai aus atau oblok.

**Analisis Validasi**

Analisis validasi dilakukan untuk mengetahui apakah nilai putaran kritis poros pada alat uji putaran kritis valid atau tidak. Untuk mempermudah proses analisis validasi, digunakan software MS Excel untuk membantu mengolah

data hasil pengujian. Hasil pengolahan data tersebut disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Data validasi

No	Alat Uji (rpm)	Teoritis (rpm)	Validasi (%)
1	1751	1756	0,3
2	1754	1756	0,1
3	1764	1756	0,5
4	1760	1756	0,2
5	1775	1756	1,1
6	1738	1756	1,0
7	1741	1756	0,9
8	1748	1756	0,5
9	1746	1756	0,6
10	1780	1756	1,4

Cara menentukan apakah nilai putaran kritis tersebut valid atau tidak adalah dengan melihat persentase validasinya. Apabila nilai validasi > 5%, maka hasil pengukuran alat uji tersebut dinyatakan tidak valid. Sedangkan, apabila nilai validasi < 5% maka hasil pengukuran alat uji tersebut dinyatakan valid.

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan MS Excel, didapatkan persentase validasi nilai putaran kritis poros pada alat uji putaran kritis adalah 0,1% sampai 1,4%. Jika dilihat dari hasil validasi dengan persentase terbesar, maka dapat dikatakan nilai pembacaan alat uji tersebut valid.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengujian fungsional yang telah dilakukan pada *proximity sensor* (rpm) didapatkan penyimpangan paling sedikit 0 rpm dan paling tinggi 2 rpm. Semakin bertambah kecepatannya, semakin tinggi pula deviasinya. Kemudian untuk hasil pengujian fungsional pada alat uji putaran kritis poros didapatkan penyimpangan sebesar 2 sampai 24 rpm. Hal ini mungkin terjadi karena *bearing* penopang poros mulai aus atau oblok. Berdasarkan analisis validasi yang dilakukan pada

hasil pengujian alat uji putaran kritis poros, didapatkan persentase validasi sebesar 0,1% sampai 1,4%. Karena persentase validasinya < 5%, maka dapat dikatakan bahwa hasil alat uji putaran kritis poros adalah valid.

### Saran

Pada saat merancang alat uji putaran kritis poros, sebaiknya menggunakan bearing yang berkualitas bagus. Sehingga bearing lebih awet dan hasil pengujian alat uji putaran kritis poros lebih akurat. Dan alam melakukan pengujian sebaiknya dilakukan oleh dua orang atau lebih, karena jika dilakukan sendiri akan kesulitan.

### REFERENSI

- Anggara, F. (2020). Validasi Nilai Simulasi Faktor Keamanan pada Putaran Kritis Poros ST41. *Quantum Teknika*, 2(1), 32–37
- Arya Pratama, H. (2020). *Pengukuran Ketelitian Geometrik dan Fungsional dengan Standar ISO 1710 Terhadap Kelayakan Alat Uji Bending Sambungan Las*. Universitas Mercu Buana.
- Azwar, S. (1986). *Reliabilitas dan Validitas : Interpretasi dan Komputasi*. Pustaka Pelajar.
- Budynas, Richard G., & Nisbett, J. K. (2015). *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill Education.
- Desai, A. J., & Patel, D. A. (2014). Analysis of Whirling Speed and Evaluation of Self-excited Motion of The Rotating Shaft. *International Journal Of Engineering Sciences & Research*, 1–4.
- Enny. (2017). Tachometer Laser, Pemakaian dan Perawatannya. *Media Komunikasi Rekayasa Proses Dan Teknologi Tepat Guna*, 13(1), 7–12.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.14710/metana.v13i1.12578>
- Farahdina, E. (2014). Uji Validitas Konstruksi Alat Ukur Diabetes Quality of life (DQOL). *Jurnal Pengukuran Psikologi Dan Pendidikan Indonesia*, 3(4).
- Hakim, M. L. (2015). *Perancangan Kecepatan Pisau Potong Ikan Sarden Berbasis PID (Proportional Integral Derivative Controller)*. Universitas Jember.
- Haris, A. A. D. (2021). Uji Fungsional Sistem Pengukur Suhu Tubuh Berbasis Arduino dengan Metode Blackbox testing. *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika, Elektronika Dan Kontrol*, 1(1), 31–35.
- Pradana, G. W. (2017). *Rancang Bangun dan Uji Fungsional Mesin Penanam Benih Jagung (Zea Mays L) Menggunakan Sistem Tugal*. Universitas Brawijaya.
- Rochim, T. (2001). *Spesifikasi, Metrologi & Kontrol Kualitas Geometrik*. Institut Teknologi Bandung.
- Standar Internasional - Rekayasa Sistem dan Perangkat Lunak*. (2010). IEEE.
- Sularso, & Kiyokatsu, S. (2004). *Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin*. PT.Pradya Pramita.
- Susilawati, E., Yulkifli, K. (2017). Pembuatan Alat Ukur Kecepatan Putar Gear Menggunakan Sensor Proximity Induktif Dan Mikrokontroler Arduino Uno. *Pillar of Physics*, 10, 09–13.