

# PERANCANGAN MESIN SORTIR DAN OPTIMASI PROSES SORTIR BIJI KOPI DENGAN METODE TAGUCHI DAN GREY RELATIONAL ANALYSIS

Shafry Yusuf Al Juni<sup>1</sup>, Eko Pujiyanto<sup>\*2</sup>, Roni Zakaria<sup>3</sup>, dan Muh. Hisjam<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia

<sup>2,3</sup> Jalan Ir. Sutami 36 Kentingan, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia 57126

Email: shafryyusuf@gmail.com<sup>1</sup>, ekopujiyanto@ft.uns.ac.id<sup>\*2</sup>, ronizakaria@staff.uns.ac.id<sup>3</sup>,

hisjam@staff.uns.ac.id<sup>4</sup>

## Abstrak

Komoditas biji kopi harus memenuhi kriteria SNI 01-2907-2008. Kriteria utama kualitas biji kopi adalah ukuran biji kopi dan pengotornya. Untuk memenuhi standar tersebut, telah dirancang mesin sortir untuk memilah biji kopi berdasarkan tingkatannya. Perancangan mesin sortir dilakukan untuk meningkatkan mutu biji kopi secara simultan, yaitu melakukan penyortiran biji kopi dan mengurangi pengotor biji kopi, sehingga hasil penyortiran biji kopi memenuhi kriteria SNI 01-2907-2008. Proses penyortiran biji kopi dilakukan dengan menggunakan saringan yang digoncangkan dengan arah angin dan kekuatan angin yang sesuai. Respon yang diukur adalah biji kopi cacat dan proporsi pengotor yang berhasil dipisahkan. Faktor yang diteliti adalah kecepatan putaran motor, kecepatan blower, dan sudut ayakan. Optimasi multirespon secara simultan dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi dan Gray Relational Analysis. Hasil level optimal adalah kecepatan motor 800 rpm, kecepatan blower 800 rpm, dan sudut ayakan 15°.

**Kata Kunci :** Kualitas biji kopi, Mesin sortir, Optimasi multi-respons, Taguchi and Gray Relational Analysis

## Abstract

The coffee bean commodity must meet the criteria of SNI 01-2907-2008. The main criteria for coffee bean quality are the size of the green bean and its impurities. To meet these standards, a sorting machine has been designed to sort coffee beans according to their grade. The development of sorting machines is carried out to improve the quality of coffee beans simultaneously, namely sorting coffee beans and reducing coffee bean impurities, so that the coffee bean sorting results meet the criteria of SNI 01-2907-2008. The process of sorting coffee beans is carried out using a sieve (screen) which is shaken and combined with the appropriate wind direction and wind strength. The responses measured were the defective coffee beans and the proportion of impurities that were successfully separated. The factors studied were motor rotational speed, blower speed, and sieve angle. Simultaneous multi-response optimization was carried out using the Taguchi and Gray Relational Analysis methods. The result of setting the optimal level is the motor speed of 800 rpm, the blower speed of 800 rpm, and the sieve angle of 15°.

**Keywords :** Coffee bean quality, Sorting machine, Multi-response optimization, Taguchi and Gray Relational Analysis

## 1. Pendahuluan

Pemerintah telah mengeluarkan SNI untuk biji kopi dalam bentuk *green bean* (biji kopi yang sudah dikupas kulit tanduknya) yaitu SNI 01-2907-1999. Standar ini telah disempurnakan menjadi SNI 01-2907-2008 untuk memenuhi standar ICO 407 yang mengatur standar kopi di pasar internasional. Berdasarkan SNI 01-2907-2008 kriteria utama kualitas kopi adalah ukuran *green bean* dan kadar kotorannya (Budiyanto et al, 2021). Untuk memenuhi standar biji kopi, digunakan mesin sortir atau *grading* untuk memilah biji kopi sesuai tingkatannya menggunakan ayakan. Proses sortir kopi dapat dilakukan menggunakan ayakan mekanis atau

manual untuk memisahkan biji kopi berdasarkan ukuran dan membersihkan kopi dari kotoran (Choiron, 2010).

Widyotomo dan Mulato (2005) telah merancang dan mengukur kinerja mesin sortir biji kopi dengan metode meja getar. Penelitian tersebut mengkaji tingkat keseragaman mutu dan efisiensi mesin. Tingkat keseragaman mutu diukur berdasarkan ukuran biji kopi dan keefektifan mesin diukur berdasarkan rancangan sudut ayakan dan kecepatan putar tenaga penggerak. Kondisi optimal proses sortir terjadi pada kemiringan 10° dan kecepatan putar tenaga penggerak 1.450 rpm. Azis dan Rivai (2018) merancang alat sortir kopi berbasis getaran untuk menyortir biji kopi berdasarkan

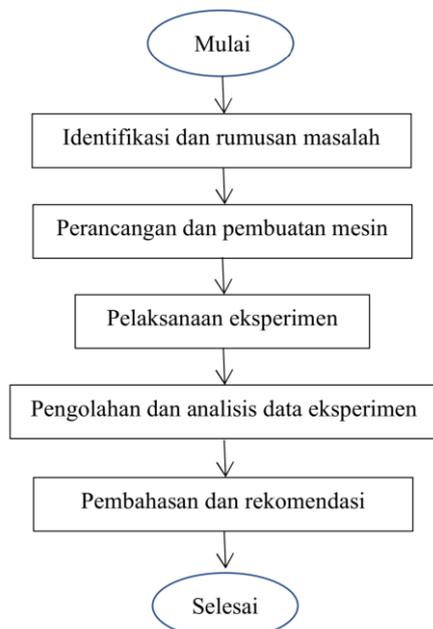
\* Penulis korespondensi

ukuran menggunakan sensor berat. Pratama dkk (2022) merancang mesin sortir kopi dengan metode *fuzzy logic control* berbasis mikrokontroler. Fatih dkk (2021) membuat simulasi dan desain mesin sortir biji kopi kering dengan sistem penggerak engkol. Anugrah dkk (2020). Afsari dan Kamyar (2024) mendesain mesin getar linier yang dioptimalkan berdasarkan maksimalisasi efisiensi dan minimalisasi keausan mesh menggunakan metode elemen diskrit. Zhao dkk. (2017) telah melakukan studi optimasi mesin ayakan getar dengan menggunakan metode Taguchi dengan tujuan mendapatkan desain yang optimal dan operasional yang efisien.

Saat ini, mesin sortir biji kopi beredar di Indonesia tidak dapat memilah biji kopi yang cacat atau busuk dan mengurangi kotoran yang terdapat pada biji kopi. Penelitian ini akan merancang mesin sortir kopi menggunakan ayakan (*sreen*) yang diguncang (*shaking*) dan tiupan angin dengan sudut dan kekuatan angin yang sesuai. Penelitian ini juga menentukan *setting* optimal proses sortir biji kopi dengan mesin hasil rancangan dengan metode Taguchi dan *Grey Relational Analysis* (GRA). Mesin hasil rancangan diharapkan mampu mensortir biji kopi sesuai tingkatannya dan mereduksi sampah pada biji kopi sehingga memenuhi kriteria SNI 01-2907-2008.

## 2. Metode Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

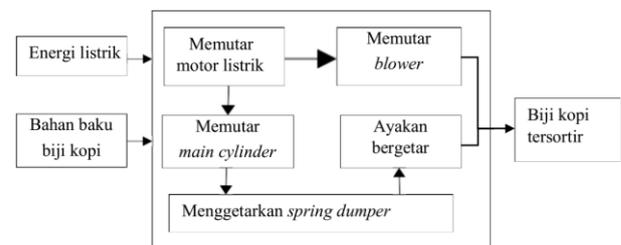
Perancangan mesin sortir kopi mengikuti konsep *engineering design* oleh Pahl (1984) yang meliputi penjabaran tugas, penentuan konsep rancangan, perancangan bentuk, dan perancangan rinci. Penjabaran tugas dan penentuan konsep dilakukan dengan

pendekatan *black box*. *Black box* berisi aliran energi yaitu perubahan energi dari listrik menjadi gerak, aliran bahan baku biji kopi yang jatuh pada ayakan getar, dan aliran sinyal menggerakkan putaran motor listrik AC untuk menjalankan mesin sortir kopi. Skema *black box* mesin sortir kopi ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Black box mesin sortir kopi

Gambar 3 menjelaskan tentang sub fungsi mesin sortir kopi yang lebih terperinci. Sub fungsi tersebut diuraikan sesuai dengan urutan pengoperasian mesin, sehingga setiap tahapan pengoperasian dapat dicari alternatif desain yang sesuai. Alternatif desain yang optimal dapat memberikan kemudahan dan kenyamanan pengguna saat mengoperasikannya.



**Gambar 3.** Sub fungsi mesin sortir kopi

Tahap eksperimen meliputi penentuan respon, faktor dan level. Respon yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kopi cacat dan kadar kotoran pada biji kopi. Menurut Taguchi, kedua respon ini bertipe *Larger the Better* (LTB) (Bagtachi, 1993). Faktor proses sortir meliputi kecepatan motor, kecepatan putar *blower* dan sudut kemiringan ayakan. Jumlah level adalah tiga untuk masing-masing faktor. Penentuan nilai level faktor berdasarkan penelitian Widyotomo dan Mulato (2005) dan Mujiyanto (2019). Tabel 1 menunjukkan faktor dan level yang digunakan dalam eksperimen. *Orthogonal Array*  $L_9(3^4)$  dari Taguchi digunakan untuk pelaksanaan eksperimen (Bellavendram, 1995).

**Tabel 1.** Faktor dan level eksperimen

Kode	Faktor (satuan)	Level 1	Level 2	Level 3
A	Putaran motor (rpm)	800	1.200	1.450
B	Kecepatan putar <i>blower</i> (rpm)	800	1.100	1.800
C	Sudut kemiringan ayakan (°)	5	10	15

Bahan yang digunakan dalam eksperimen yaitu biji kopi dengan tingkat kadar air 12% sebanyak 500 gram yang telah dicampurkan 150 gram biji kopi cacat dan kadar kotoran pada biji kopi sebanyak 5 gram. Alat eksperimen adalah mesin sortir kopi hasil rancangan dan timbangan digital.

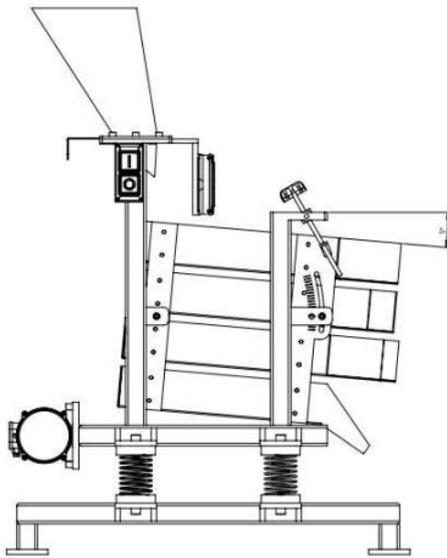
Data respon biji kopi cacat dan kadar kotoran pada biji kopi dikumpulkan, selanjutnya dilakukan

perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan melakukan proses optimasi multirespon menggunakan metode GRA yang meliputi normalisasi SNR, menghitung delta data normalisasi, menghitung *Grey Relational Coefficient* (GRC) dan menghitung *Grey Relational Grade* (GRG) (Jiang, 2022). Proses optimal secara simultan tercapai pada nilai GRG yang tertinggi.

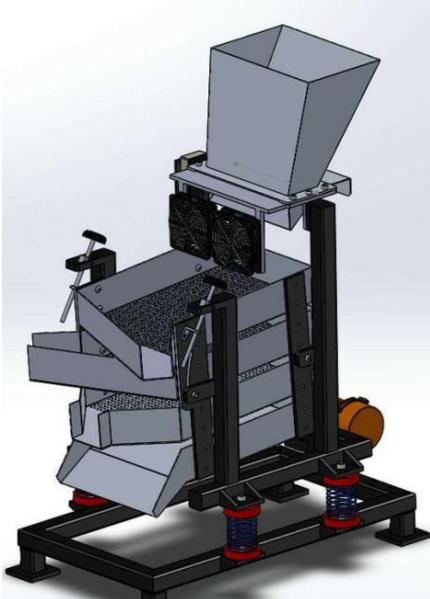
**3. Hasil dan Pembahasan**

**3.1 Perancangan mesin sortir kopi**

Perancangan desain 2D dan 3D mesin sortir kopi menggunakan perangkat lunak Solid Work 2019. Sketsa 2D dan 3D rancangan mesin sortir kopi ditunjukkan Gambar 3 dan Gambar 4. Setelah alat, bahan, dan spesifikasi ditentukan, hasil perancangan mesin sortir kopi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 3. Sketsa 2D mesin sortir kopi



Gambar 4. Sketsa 3D mesin sortir kopi



Gambar 5. Rancangan mesin sortir kopi

**3.2 Ekperimen sortir kopi**

Eksperimen dilaksanakan dengan metode Taguchi menggunakan Orthogonal Array  $L_9 (3^4)$  dengan tiga kali replikasi untuk setiap respon. Data respon proses sortir kopi dari eksperimen ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Data respon biji kopi cacat dan kadar kotoran

No	Kecepatan Putar Motor (rpm)	Kecepatan Blower (rpm)	Sudut Ayakan (°)	Biji kopi cacat (%)			Kadar kotoran (%)		
				R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
1	800	800	5	9,12	9,42	8,96	10,25	11,75	11,13
2	800	1100	10	18,68	18,42	18,58	34,75	33,38	34,00
3	800	1800	15	22,70	22,80	22,54	58,88	56,00	60,00
4	1200	800	10	24,06	24,48	24,12	11,38	11,88	11,50
5	1200	1100	15	19,16	19,64	19,24	31,63	33,88	36,00
6	1200	1800	5	14,16	14,66	14,26	56,38	58,50	60,38
7	1450	800	15	17,66	17,88	17,70	11,50	11,38	12,25
8	1450	1100	5	14,06	14,28	14,12	33,00	34,50	35,25
9	1450	1800	10	19,78	19,66	19,24	58,00	59,63	60,63

**3.3 Optimasi multirespon menggunakan GRA**

Kedua respon yaitu biji kopi cacat dan kadar seperti ditunjukkan pada Tabel 2 adalah tipe Larger The Better, maka perhitungan SNR menggunakan rumus

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

Dimana  $n$  = jumlah replikasi,  $y_i$  data eksperimen ke- $i$ .

Contoh perhitungan SNR untuk respon biji kopi cacat eksperimen pertama ( $i=1$ ) adalah sebagai berikut:

$$SNR = -10 \log \left[ \frac{1}{3} \left( \frac{1}{9,12^2} + \frac{1}{9,42^2} + \frac{1}{8,96^2} \right) \right]$$

$$= 19,25$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama pada kedua respon untuk semua eksperimen, hasil SNR ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** SNR biji kopi cacat dan SNR kadar kotoran

No	SNR Biji kopi cacat	SNR Kadar kotoran
1	19,25	20,88
2	25,37	30,64
3	27,11	35,32
4	27,68	21,28
5	25,73	30,60
6	23,14	35,33
7	24,98	21,38
8	23,02	30,70
9	25,83	35,48

Data SNR pada Tabel 3 dinormalisasi dengan rumus

$$X_{i(j)}^* = \frac{X_{i(j)} - \min X_{i(j)}}{\max X_{i(j)} - \min X_{i(j)}}$$

$X_{i(j)}^*$  = nilai normalisasi SNR eksperimen ke - i respon ke - j

$X_{i(j)}$  = nilai SNR eksperimen ke - i respon ke - j

Contoh perhitungan normalisasi SNR untuk respon biji kopi cacat eksperimen pertama ( $i=1$ ) adalah sebagai berikut

$$X_{1(1)}^* = \frac{19,25 - (19,25)}{27,68 - (19,25)} = 0$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama pada kedua respon untuk semua eksperimen, hasil normalisasi SNR ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Normalisasi SNR biji kopi cacat dan SNR kadar kotoran

No	Biji kopi cacat	Kadar kotoran
1	0,00	0,00
2	0,73	0,67
3	0,93	0,99
4	1,00	0,03
5	0,77	0,66
6	0,46	0,99
7	0,68	0,04
8	0,45	0,67
9	0,78	1,00

Data normalisasi SNR pada Tabel 4 selanjutnya dihitung deltanya dengan rumus

$$\Delta_{0i(j)} = |X_{0(j)}^* - X_{i(j)}^*|$$

$X_{0(j)}^*$  = nilai minimum normalisasi SNR, respon ke - j

$X_{i(j)}^*$  = nilai SNR eksperimen ke - i, respon ke - j

Contoh perhitungan delta untuk respon biji kopi cacat eksperimen pertama ( $i=1$ ) adalah sebagai berikut

$$\Delta_{01(1)} = |0 - 1| = 1$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama pada kedua respon untuk semua eksperimen, hasil delta normalisasi SNR ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Delta data normalisasi biji kopi cacat dan kadar kotoran

No	Biji kopi cacat	Kadar kotoran
1	1,00	1,00
2	0,27	0,33
3	0,07	0,01
4	0,00	0,97
5	0,23	0,33
6	0,54	0,01
7	0,32	0,97
8	0,55	0,33
9	0,22	0,00

Data delta normalisasi SNR pada Tabel 5 selanjutnya dihitung GRC dengan rumus

$$y(x_{0(j)}, x_{i(j)}) = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_{0i(j)} + \zeta \Delta_{max}}$$

$\Delta_{min}$  = nilai minimum rangkaian deviasi

$\Delta_{max}$  = nilai maksimum rangkaian deviasi

$\zeta$  = koefisien yang diutamakan = 0,5

Contoh perhitungan GRC untuk eksperimen pertama ( $i=1$ ) adalah sebagai berikut

$$y(x_{0(1)}, x_{1(1)}) = \frac{0 + 0,5 * 1}{1 + 0,5 * 1} = 0,33$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama pada kedua respon untuk semua eksperimen, hasil GRC ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** GRC biji kopi cacat dan kadar kotoran

No	Biji kopi cacat	Kadar kotoran
1	0,33	0,33
2	0,65	0,60
3	0,88	0,98
4	1,00	0,34
5	0,68	0,60
6	0,48	0,98
7	0,61	0,34
8	0,48	0,60
9	0,69	1,00

Data GRC pada Tabel 6 selanjutnya dihitung GRG dengan rumus

$$y(x_0, x_i) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^m y(x_{0(j)}, x_{i(j)})$$

$y(x_0, x_i)$  = nilai GRG setiap eksperimen

$m$  = jumlah respon

$y(x_{0(j)}, x_{i(j)})$  = nilai RGC setiap respon

Contoh perhitungan GRG untuk eksperimen pertama ( $i=1$ ) adalah sebagai berikut

$$y(x_0, x_1) = \frac{1}{2} (0,33 + 0,33) = 0,33$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama untuk semua eksperimen, hasil GRG ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** GRG dan urutan

No	GRG	Urutan
1	0,33	9
2	0,62	6
3	0,93	1
4	0,67	4
5	0,64	5
6	0,73	3
7	0,48	8
8	0,54	7
9	0,85	2

Berdasarkan hasil perhitungan GRG seperti ditunjukkan Tabel 7, didapatkan bahwa eksperimen yang memiliki GRG paling tinggi yaitu eksperimen ketiga. Sehingga proses optimal sortir kopi, dengan memperhatikan secara simultan repons biji kopi cacat dan kadar secara optimal terjadi pada kecepatan putar motor adalah 800 rpm, kecepatan *blower* adalah 800 rpm dan sudut ayakan adalah 15°. Berbeda dengan penelitian Widyotomo dan Mulato (2005) yang hanya melibatkan dua faktor dan mencapai kondisi optimum pengoperasian mesin sortasi dilakukan pada kemiringan 10° dan kecepatan putar tenaga penggerak sebesar 1.450 rpm, hasil riset ini melibatkan tiga faktor dengan setting optimum yang lebih rendah putaran motornya.

Hasil optimal pada eksperimen ketiga adalah biji kopi cacat adalah 22,68% dan kadar kotoran 58,29%. Penelitian ini berbeda dengan Pratama dkk (2022) yang hanya melaporkan sortir kopi dalam tiga ukuran dengan ukuran keberhasilan tingkat kesalahan (*error*). Dengan demikian hasil riset ini lebih baik karena berhasil memisahkan kopi cacat dan kotoran. Hasil optimal ini selanjutnya dapat digunakan untuk proses sortir pada kondisi nyata.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang mesin sortir kopi dan berhasil digunakan untuk mensortir kopi pada tahap eksperimen. Hasil eksperimen dengan metode Taguchi dan optimasi multirespon dengan GRA menunjukkan bahwa proses optimal sortir kopi terjadi pada kecepatan putar motor adalah 800 rpm, kecepatan *blower* adalah 800 rpm dan sudut ayakan adalah 15°. Hasil optimal pada eksperimen ke-3 adalah biji kopi cacat adalah 22,68% dan kadar kotoran 58,29%. Hasil optimal ini selanjutnya dapat digunakan untuk proses sortir pada kondisi nyata dengan penyesuaian yang diperlukan, sehingga kualitas kopi memenuhi SNI 01-2907-2008.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih juga disampaikan kepada LPPM UNS atas dukungannya melalui skema PENELITIAN HGR-UNS, Kontrak No. 260/UN27.22/HK.07.00/2021.

#### Daftar Pustaka

- Anugrah, R., Muhtadin, Mahyudin, (2020). Rancang Bangun Mesin Sortir Biji Kopi Dengan Kapasitas Rencana 40 Kg/Jam, Jurnal Ristech (Jurnal Riset, Sains dan Teknologi) Vol. 3, No.1, Juli 2020.
- Afsari, O., & Hashemnia, K. (2024). Optimized design of a linear vibrating screen based on efficiency maximisation and mesh wear minimisation employing discrete element method. *Particuology*, 90, 307–322. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2024.01.004>
- Azis, D. Z., & Rivai, M., 2018. Alat Sortir Biji Kopi Berbasis Metode Getaran Menggunakan Arduino Due. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), F245-F250. doi: 10.12962/j23373539.v7i2.31070
- Budiyanto, B., Uker, D., Izahar, T., 2021. Karakteristik Fisikkualitas Biji Kopi dan Kualitas Kopi Bubuksintaro 2 dan Sintaro 3 dengan Berbagai Tingkat Sangrai. *Jurnal Agroindustri*, 11(1), 54-71. doi:10.31186/j.agroind.11.1.54-71
- Bagtachi, T.P., 1993. *Taguchi methods explained: practical steps to robust design*, Prentice-Hall, New Delhi.
- Belavendram., N., 1995. *Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial, Experimentation*. Prentice Hall International: New York.
- Choiron, M., 2010. Penerapan GMP pada Penanganan Pasca Panen Kopi Rakyat untuk Menurunkan Okratoksin Produk Kopi (Studi Kasus di Sidomulyo, Jember). *Agrointek*, 4(2), 114–120. doi: 10.21107/agrointek.v4i2.1363
- Fatih, A., Kabib, M. dan Hudaya, A.Z. (2021), Desain dan Simulasi Mesin Sortir Biji Kopi Kering dengan Sistem Penggerak Engkol, *Jurnal CRANKSHAFT*, Vol. 4 No. 1 Maret 2021.
- Jiang, B., Huang, J., Ma, H., Zhao, H., & Ji, H., 2022. Multi-objective optimization of process parameters in 6016 aluminum alloy hot stamping using taguchi-grey relational analysis. *Materials*, 15(23), 1-14. doi: 10.3390/ma15238350
- Mujianto, H. (2019). Pengaruh Sudut Kemiringan (Inklinasi) Terhadap Unjuk Kerja Ayakan Getar (Vibrating Screen). *Sigma Teknika*, 2(2), 137. doi: 10.33373/sigma.v2i2.2051
- Pahl, G. dan Beitz, W., (1984). *Engineering design*, Design Council, London.
- Pratama, B.W., Baisrum, Purnama, H, (2022). Rancang Bangun Mesin Sortir Biji Kopi dengan Metode FLC Berbasis Mikrokontroler dan Computer Vision, *Prosiding The 13th Industrial Research Workshop and National Seminar*.
- Standar Nasional Indonesia., 2008. *Biji Kopi SNI 2907:2008*.

- Widyotomo, S., & Mulato, S., 2005. Performance of a table vibration type coffee grading machine. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*, 21(1): 55–72. doi: 10.22302/iccri.jur.pelitaperkebunan.v21i1.125
- Zhao, L., Zhao, Y., Bao, C., Hou, Q., & Yu, A. (2017). Optimisation of a circularly vibrating screen based on DEM simulation and Taguchi orthogonal experimental design. *Powder Technology*, 310,;307–317. doi: 10.1016/j.powtec.2017.01.049