

Perancangan Mesin Pengupas Kulit Ari Kopi dengan Model Preskriptif Pahl & Beitz

Prasetyo, Muhammad Adly Kurnia, Heri Widiatoro

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung,

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559

*E-mail: muhammad.adly.tpkml@polban.ac.id

Diterima: 02-06-2022; Direvisi: 05-12-2022; Dipublikasi: 23-12-2022

Abstrak

Proses pengupasan kulit ari biji kopi merupakan proses yang penting sebelum dilakukan proses sangrai biji kopi. Salah satu mesin pasca panen biji kopi adalah mesin pengupas kulit ari (*huller*). Seiring perkembangan penggilingan (*huller*) biji kopi, banyak variasi dalam prosesnya. Pada penelitian ini akan dirancang mesin pengupas (*huller*) kulit ari kopi dengan menggunakan model preskriptif Pahl & Beitz. Tahap rancangan model Pahl & Beitz meliputi perencanaan awal, perancangan konsep, perancangan bentuk, dan perancangan detail. Hasil dari rancangan meliputi model 3D menggunakan aplikasi SolidWorks. Hasil perhitungan menghasilkan spesifikasi mesin berupa: daya rencana motor 0,5 kW; transmisi menggunakan sabuk V nomor A53 ($L = 1346$ mm), jumlah sabuk 2, diameter puli 95mm, lebar puli 35mm, jarak penyetelan (504—564) mm; diameter poros 25mm; serta lebar dan tinggi pasak 7mm.

Kata kunci: Kopi; Pascapanen; Perancangan; Perancangan Mesin

Abstract

The process of stripping the epidermis of coffee beans is an important process before the coffee bean roasting process is carried out. One of the post-harvest machines for coffee beans is a huller. As the coffee bean huller developed, there were many variations in the process. In this study, a coffee huller was designed using the Pahl & Beitz prescriptive model. The design stage of the Pahl & Beitz model includes initial planning, conceptual design, embodiment design, and detail design. The results of the design include 3D models using the SolidWorks application. The calculation results produce machine specifications in the form of motor design power of 0,5 kW; transmission using V-belt number A53 ($L = 1346$ mm), the number of belts are 2, pulley diameter 95mm, pulley width 35mm, adjustment distance (504—564) mm; shaft diameter 25mm; as well as the width and height of the stake 7mm.

Keywords: Coffe;, Design; Machine Design; Post-Harvest

1. Pendahuluan

Perkembangan jenis penggilingan penting untuk proses pembuatan kopi. Pada tahun 1841, mesin penggilingan kopi pertama dipatenkan oleh James Bogardus [1], selanjutnya pada tahun 1894 Charles E. Lipe mempatenkan mesin huller kopi dengan motor [2], [3]. Mesin tersebut dirancang untuk membuat proses penggilingan lebih mudah dengan memisahkan dan membersihkan buah kopi[4]. Pengembangan mesin tersebut merupakan yang pertama dan yang mengubah bagaimana kopi dibuat. Mesin pengupas kulit ari kopi berguna bagi perusahaan pembuat kopi untuk meningkatkan produksi dan akurasi proses pengolahan pascapanen yang lebih baik [5], [6].

Di antara negara-negara ASEAN, Indonesia dikenal sebagai produsen dan eksportir kopi terbesar kedua setelah Vietnam [7]. Di dunia, Indonesia merupakan produsen kopi terbesar keempat setelah Brazil, Vietnam, dan Kolombia [8]. Dalam hal ekspor kopi, Indonesia merupakan pengekspor kopi terbesar keempat di dunia setelah Brazil, Vietnam, dan Kolombia [8]. Di dunia, Indonesia telah dikenal sebagai kopi spesial melalui varian kopi. Dengan keunikan rasa dan aromanya, Indonesia memiliki peluang yang sangat baik untuk meningkatkan perdagangan kopi di dunia. Di Indonesia, kopi merupakan salah satu komoditas yang memegang peranan penting dalam mendukung upaya peningkatan ekspor nonmigas. Penerimaan devisa dari komoditas kopi pada tahun 2014 menghasilkan nilai ekspor sebesar 10,1 persen dari seluruh nilai ekspor komoditas pertanian, atau 0,5 persen dari ekspor nonmigas, atau 0,4 persen dari total nilai ekspor [9]. Dalam beberapa tahun terakhir, jumlah ekspor kopi mengalami penurunan. Penurunan nilai

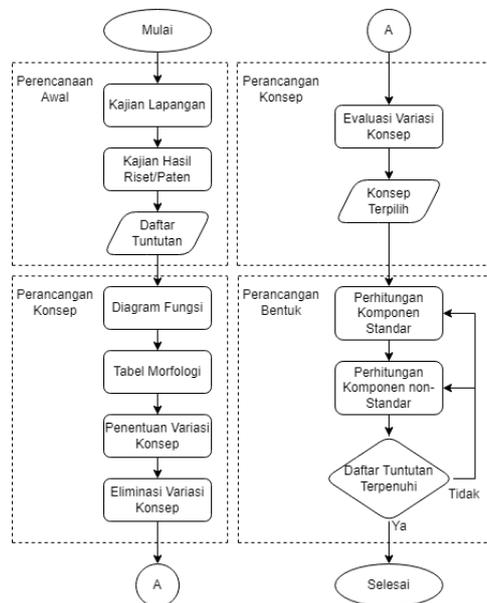
komoditas tersebut, selain karena penurunan harga kopi di pasar internasional juga diduga akibat penurunan kualitas kopi Indonesia.

Penelitian hasil rancangan menggunakan daya motor 5HP, Muzzamir, dkk., menghasilkan temuan pada putaran 600 rpm sebanyak 2 x dihasilkan masing-masing persentase sebesar 60% dan 70%. Hasil terbaik didapat pada putaran 1000 rpm dengan pengujian sebanyak 2x. Kekeringan kopi sangat berpengaruh untuk mendapatkan hasil kupasan yang baik [10]. Penelitian Budiyanto, dkk., menunjukkan bahwa variasi jumlah mata silinder pada alat pengupas kulit kopi kering dan putaran sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kapasitas produksi pengupasan kulit biji kopi kering, hasil menunjukan efisiensi mesin sebesar 94,33% dengan jumlah 3 mata silinder [11]. Hasil penelitian dan rancangan Kelik dkk., menghasilkan rancangan kapasitas 5kg minimum motor penggerak sebesar 0,5HP serta menggunakan mata pisau 3 buah [12]. Hasil Rancangan Sahar dkk., menggunakan 2 dinding pemisah pada perancangan alat dengan error saat pengupasan sebesar 4% [13]. Hasil penelitian dan rancangan Sodik dkk., menggunakan metode 2 roller sebagai pengupas kopi dan menghasilkan kapasitas 329,08 kg/jam dengan putaran 110rpm [14].

Berdasarkan fakta dilapangan terdapat mesin dengan dimensi besar mengakibatkan harga dipasaran relatif mahal, disamping itu rata-rata motor penggerak mula menggunakan motor penggerak bensin serta diperlukan manajemen dalam pengoperasiannya, berdasarkan fakta ini maka diperlukan suatu rancangan mesin pengupas kulit ari kopi ini akan dilakukan dengan menggunakan model preskriptif dari Pahl & Beitz (1984). Perancangan dengan model preskriptif meliputi perencanaan awal, perancangan konsep, perancangan bentuk, dan perancangan detail [15].

2. Material dan metodologi

Metodologi yang digunakan dalam perancangan ini yaitu model preskriptif. Model proses desain ini diusulkan oleh Pahl dan Beitz (1984), yang memformalkan proses desain menjadi empat tahap sistematis: perencanaan awal, perancangan konsep, perancangan bentuk, dan perancangan detail [16]–[19]. Alur perancangan akan dilakukan seperti pada Gambar 1 dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Modifikasi dari Pahl & Beitz [20]

2.1. Perencanaan awal

Tahap perencanaan awal dilakukan kajian paten/hasil riset, kajian lapangan, dan menentukan daftar tuntutan [20]. Kajian paten/hasil riset dilakukan untuk mencari dan mengumpulkan data serta referensi dan memperkecil

kemungkinan plagiasi. Hasil dari perencanaan awal berupa daftar tuntutan yang dijadikan acuan terhadap perancangan produk mesin pengupas kulit ari kopi.

Kajian lapangan dilakukan agar alat yang dirancang sesuai dengan kebutuhan pekerja pasca panen kopi. Diskusi dan wawancara dilakukan. Hasil dari diskusi didapatkannya daftar permintaan dari mitra yang selanjutnya disusun menjadi daftar tuntutan. Tabel 1 menunjukkan daftar tuntutan untuk spesifikasi dan mekanisme yang diharapkan dan diminta.

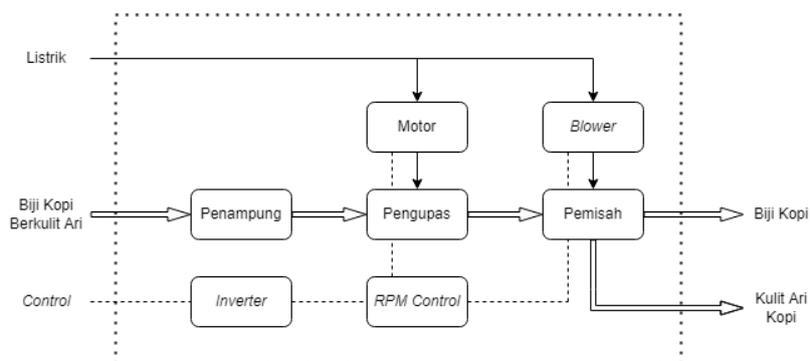
Tabel 1. Daftar Tuntutan

Permintaan/Harapan	Tuntutan
	<u>1. Geometri</u>
H	Panjang 50-150 cm; Lebar 30-60 cm
P	Tinggi 80 - 150 cm
	<u>2. Fitur</u>
P	Jarak pengupasan dapat diatur; Pengaturan input, dan output; Hasil dan kulit terkupas jalurnya terpisah
	<u>3. Energi</u>
H	Daya listrik maksimal 500 W
	<u>4. Material</u>
H	Bahan ringan
P	Foodgrade
	<u>5. Produksi</u>
H	Kapasitas produksi 350 kg/jam
	<u>6. Perawatan</u>
H	Mudah dibongkar pasang dengan alat sederhana

2.2. Perancangan konsep

Daftar tuntutan yang didapat pada perencanaan awal dikembangkan dalam tahap perencanaan konsep melalui diagram fungsi, tabel morfologi, penentuan variasi konsep, eliminasi variasi konsep, evaluasi variasi konsep melalui kriteria teknis dan kriteria ekonomi oleh mitra, dan menghasilkan konsep terpilih [20].

Diagram fungsi alat digunakan untuk mengetahui hubungan antara input dan output [21]. Penggunaannya dapat dibagi menjadi sub-sistem sehingga fungsi yang kompleks dapat dipecah menjadi sub-fungsi dengan kompleksitas yang lebih rendah. Kombinasi sub-fungsi secara individu menghasilkan struktur fungsi yang mewakili fungsi keseluruhan [22]. Gambar 2 menunjukkan diagram fungsi pada mesin yang akan dibuat berdasarkan dari daftar tuntutan dan Tabel 2 menunjukkan sub-fungsi dan keterangannya.



Gambar 2. Diagram Fungsi

Tabel 2. Sub-fungsi dan keterangan

Sub-Fungsi	Keterangan
Penampung	Untuk menampung dan sebagai pintu utama masukan biji kopi berkulit ari.
Pengupas	Untuk mengupas dan menyalurkan biji kopi yang terkupas ke proses selanjutnya.
Pemisah	Untuk memisahkan antara kulit ari kopi dan biji kopi dan sebagai keluaran dari mesin ini.

Tabel morfologi merupakan pengembangan dari diagram fungsi untuk mendapatkan variasi dari sub-fungsi yang telah dirancang di tahap sebelumnya [20]. Tabel Morfologi dimodifikasi dari buku yang ditulis oleh Ullman [22]. Selanjutnya dilakukan eliminasi terhadap konsep – konsep dari sub-fungsi yang didapat.

Pemilihan alternatif solusi sub-fungsi dimanfaatkan untuk melakukan seleksi terhadap variasi yang dianggap tidak sesuai dengan kriteria yang sudah ditentukan. Lalu dilakukan eliminasi pada morfologi yang terevaluasi, sehingga didapat variasi konsep dengan cara menggabungkan tiap variasi dari sub-fungsi yang lolos dari eliminasi.

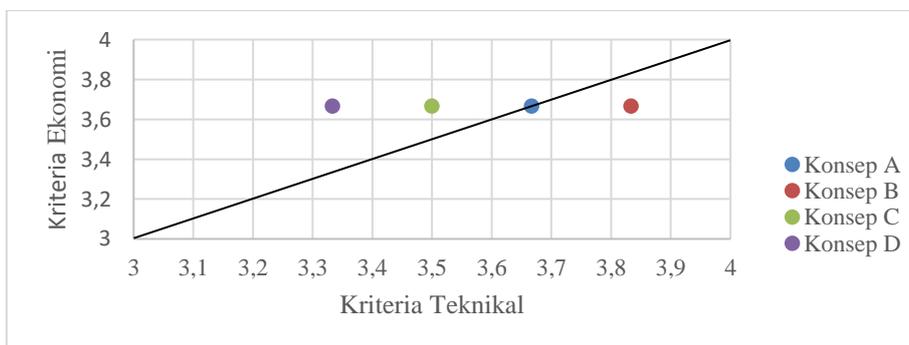
Evaluasi variasi konsep dilakukan untuk penilaian terhadap kriteria yang akan menentukan nilai dari masing-masing variasi konsep yang sudah dihasilkan [23]. Variasi konsep dengan nilai yang paling tinggi itu yang akan dijadikan konsep terpilih. Penentuan kriteria teknis dan ekonomis, pembobotan dan penilaiannya akan berpengaruh pada variasi konsep yang akan terpilih.

Tabel 3 dan Gambar 3 merupakan penilaian konsep terpilih untuk menentukan variasi konsep yang terpilih berdasarkan kriteria penilaian.

Tabel 3. Penilaian Variasi Konsep

No	Kriteria Teknis	Bobot	Konsep A		Konsep B		Konsep C		Konsep D	
			Nilai	Total	Nilai	Total	Nilai	Total	Nilai	Total
1	Produktivitas	33%	4	1,33	4	1,33	3	1	4	1,333
2	Keamanan Pengguna	17%	3	0,5	4	0,67	3	0,5	3	0,5
3	Perawatan	17%	3	0,5	3	0,5	4	0,667	3	0,5
4	Kemudahan Pengoperasian	33%	4	1,33	4	1,33	4	1,333	3	1
TOTAL		100%		3,67		3,83		3,5		3,333

No	Kriteria Ekonomis	Bobot	Konsep A		Konsep B		Konsep C		Konsep D	
			Nilai	Total	Nilai	Total	Nilai	Total	Nilai	Total
1	Ketersediaan Bahan Mentah	33%	3	1	3	1	4	1,333	4	1,333
2	Kemudahan Pembuatan	33%	4	1,33	5	1,67	4	1,333	3	1
3	Kemudahan Pemasangan	33%	4	1,33	3	1	3	1	4	1,333
TOTAL		100%		3,67		3,67		3,667		3,667



Gambar 3. Grafik Penilaian Variasi Konsep

Penilaian terhadap variasi konsep membuahkan konsep terpilih. Mengacu pada Tabel 3 dan Gambar 3 yang menunjukkan jumlah total nilai kriteria ekonomi dan teknis, didapat variasi konsep B yang memiliki nilai tertinggi dalam skala 4, yaitu 3,83. Lalu pada grafik penilaian, yang paling mendekati garis ideal yaitu konsep A. Maka dari kedua penilaian diatas penulis memilih konsep A sebagai konsep terpilih yang ditunjukkan pada gambar 6.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Perancangan bentuk

Penelitian oleh Palungan [24] menyebutkan bahwa dalam perhitungan poros diperlukan tekanan untuk pengupasan (P_b) sebesar $0,5 \text{ kgf} = 4,9 \text{ N}$. Panjang, lebar, tinggi, dan massa biji kopi rata – rata masing – masing sebesar 12mm, 8mm, 4mm, dan 0,2 gram [25]. Maka, untuk mendapatkan gaya pemotongan, perlu menghitung jumlah maksimal biji kopi yang terguling pada *roller screw* per proses pengupasan (N_b) perlu terlebih dahulu mendapatkan keliling dari *roller screw* (K_r) tersebut:

$$K_r = 2 \cdot \pi \cdot R_r \quad (1)$$

$$K_r = \mathbf{0,471 \text{ m}}$$

Asumsi panjang efektif pisau pengupas 30 cm, maka biji yang terkelupas pada 1 baris:

$$N_b = \frac{30 \text{ cm}}{\text{lebar}} \quad (2)$$

$$N_b = 37,5 \approx \mathbf{37 \text{ biji dalam 1 baris}}$$

Faktor kerapatan = 0,5 maka,

$$N_b = 37 \cdot 0,5 = \mathbf{18,5 \approx 18 \text{ biji dalam 1 baris}}$$

Total gaya yang bekerja pada *roller screw* untuk mengupas biji kopi (F_{kt}),

$$F_{kt} = N_b \times P_b \quad (3)$$

$$F_{kt} = 18 \times 4,9 = \mathbf{88,2 \text{ N}}$$

Jika *roller screw* memiliki diameter 15cm, torsi yang dibutuhkan untuk melakukan 1x pengupasan yaitu,

$$T = F \cdot R$$

$$T = \mathbf{6,615 \text{ Nm}}$$

Penelitian menyebutkan bahwa putaran paling efisien untuk pengupasan kulit ari kopi yaitu 350 rpm [26], maka daya yang dibutuhkan untuk mengupas kulit ari kopi yaitu,

$$P = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{t} \quad (4)$$

$$P = 242,5 \text{ W} = \mathbf{0,242 \text{ kW}}$$

Maka daya rencana dengan factor koreksi 1,7 didapat,

$$P_d = P \cdot f_c \quad (5)$$

$$P_d \approx \mathbf{0,5 \text{ kW}}$$

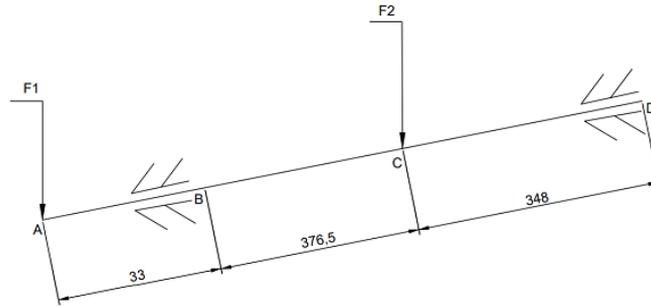
Perhitungan untuk merencanakan sabuk V dan puli dalam transmisi mengikuti alur perencanaan sabuk dari Sularso & Suga [27]. Diketahui daya rencana 0,5 kW, perbandingan putaran 1:1, jarak antar poros motor dan *roller screw* 521 mm, maka didapat:

Sabuk: Nomor = A53 (L = 1346 mm); Jumlah sabuk = 2 sabuk

Puli: $d_p = 95 \text{ mm}$; $D_p = 104 \text{ mm}$; Lebar = B = 35 mm

Jarak sumbu poros dan ukuran penyetelan; $C_p = (504 - 564) \text{ mm}$

Material yang digunakan untuk puli yaitu *cast iron* [28]. Gaya horizontal pada puli = 0 karena perbandingan putarannya 1:1. Maka diagram benda bebas untuk poros pemutar tergambar pada Gambar 4 dengan F1 merupakan gaya pada puli (berat puli + gaya tegang pada sabuk) dan F2 merupakan gaya pada *roller screw* (gaya pengupasan + gaya berat pada *roller screw*).



Gambar 4. Diagram Benda Bebas pada Poros Pemutar

Selanjutnya diameter poros pemutar dan ukuran pasak dapat dihitung,

$$ds \geq \left\{ \frac{5,1}{5} \left(\sqrt{(2 \times 2277)^2 + (1,5 \times 1391,429)^2} \right) \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

$$ds \geq 17,223 \text{ mm}$$

Diameter poros yang digunakan yaitu $\varnothing 25$ untuk memenuhi syarat kuat pada perhitungan pasak. Lebar dan tinggi pasak yang dipilih yaitu 7mm. Dimana panjang pasak berdasarkan geseran,

$$L_1 \geq \frac{2 \cdot 1391,429}{25 \cdot 7 \times \frac{45}{6 \cdot 2}} \geq 4,241 \text{ mm}$$

Panjang pasak berdasarkan tekanan,

$$L_2 \geq \frac{2 \cdot 1391,429}{25 \cdot 3 \cdot 8} \geq 4,638 \text{ mm}$$

Syarat kuat pasak,

$$\frac{b}{d} = \frac{7}{25} = 0,28 \text{ maka } 0,25 < \mathbf{0,28} < 0,35 \text{ (AMAN)}$$

$$\frac{l}{d} = \frac{20}{25} = 0,8 \text{ maka } 0,75 < \mathbf{0,8} < 1,5 \text{ (AMAN)}$$

Nomor bantalan			Ukuran luar (mm)				Kapasitas nominal dinamis spesifik C (kg)	Kapasitas nominal statis spesifik C_0 (kg)
Jenis terbuka	Dua sekat	Dua sekat tanpa kontak	d	D	B	r		
6000			10	26	8	0,5	360	196
6001	6001ZZ	6001VV	12	28	8	0,5	400	229
6002	02ZZ	02VV	15	32	9	0,5	440	263
6003	6003ZZ	6003VV	17	35	10	0,5	470	296
6004	04ZZ	04VV	20	42	12	1	735	465
6005	05ZZ	05VV	25	47	12	1	790	530

Gambar 5. Tabel Pemilihan Bantalan Gelinding oleh Sularso & Suga [27]

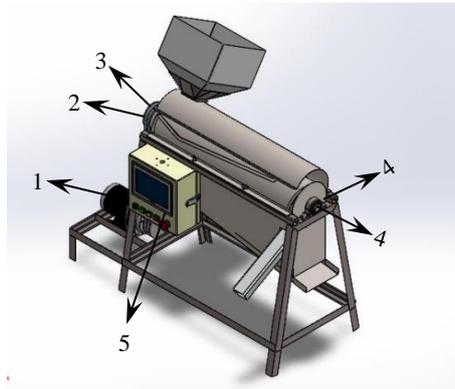
Berdasarkan Gambar 5 pemilihan bantalan gelinding, Nomor bantalan yang dipilih yaitu 6005 dengan diameter poros bantalan 25 mm, dan $C = 790 \text{ kg}$; $C_0 = 530 \text{ kg}$.

Penelitian menyebutkan bahwa putaran paling efisien untuk pengupasan kulit ari kopi yaitu 350 rpm dengan bilah *roller screw* sejumlah 3[26]. Maka jumlah biji yang terkelupas dalam 1 putaran poros adalah $18 \times 3 = 54$ biji. Jumlah putaran dalam 1 jam = $350 \times 60 = 21000$ putaran. Perhitungan kapasitas produksi dilakukan dengan mengalikan jumlah biji yang dikelupas dalam 1 jam dan massa maksimum yang didapat oleh Kuala, dkk [25], yaitu:

$$\text{Kapasitas produksi/jam} = 11340000 \times 0,44 \text{ gram} = 498960 \text{ gram/jam} = \mathbf{498 \text{ kg/jam}}$$

3.2. Perancangan detail

Perancangan mesin pengupas kulit ari kopi dilakukan dengan menggunakan aplikasi SolidWorks. Hasil rancangan model 3D didasarkan dari hasil perhitungan perancangan bentuk. Penambahan sistem kontrol on-off menggunakan inverter guna saat di implementasikan menjadi kemudahan dalam pengaturan kecepatan putar motor listrik sehingga memungkinkan alat mendapatkan efisiensi yang baik dan hasil yang bagus.

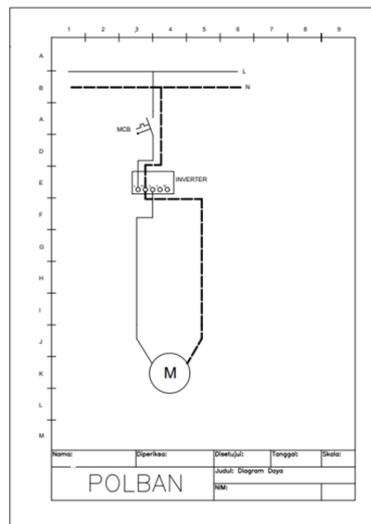


Gambar 6. Hasil Rancangan Mesin Pengupas Kulit Ari Kopi

Hasil perancangan sesuai perhitungan diatas :

1. Motor penggerak mula sebesar 0,5kW.
2. Tipe sabuk V A53, panjang sabuk 1346 mm, jumlah sabuk 2
3. Diameter puli 95
4. Tipe bantalan gelinding 6005 dengan diameter poros 25 mm.
5. Sistem kontrol metode on-off dengan menggunakan inverter sebagai pengatur putaran motor.

Berikut skematik rangkaian inverter :



4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil rancangan alat Panjang efektif pisau pengupas 30 cm dapat mengupas 18 biji kopi dalam satu baris. Berdasarkan hasil studi, efisiensi pengupasan kulit ari kopi yaitu pada putaran sebesar 350 rpm [24], untuk mendapatkan putaran motor sesuai putaran di design menggunakan pengaturan frekuensi inverter, berdasarkan Spesifikasi alat dapat dihitung bahwasanya efisiensi mesin sdidapat sebesar 498 kg/jam.

Daftar Pustaka

- [1] J. Bogardus, "Universal Mill for Grinding, Hulling, etc.," 2,194, 1841.
- [2] A. P. Cercado, "Hulling Machine: Design, Fabrication, and Performance," *Int. J. Inf. Res. Rev.*, vol. 6, no. 6, 2019.
- [3] C. E. Lipe, "Hulling and Cleaning Machine," 525,813, 1894.
- [4] A. E.-E. O. Saif, "DESIGN AND MANUFACTURE A PROTOTYPE OF YEMENI COFFEE HULLER MACHINE," *Misr J. Agric. Eng.*, 2011, doi: 10.21608/mjae.2011.105365.
- [5] Muzammir, I. Mawardi, and S. Bahri, "MODIFIKASI KONSTRUKSI MESIN PENGUPAS KULIT ARI KOPI DENGAN DAYA 5 HP," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 2, no. 2, 2018.
- [6] I.- Mawardi, N. Nurdin, and Z. Zulkarnaini, "Appropriate Technology Program of Postharvested Coffee: Production, Marketing, and Coffee Processing Machine Business Unit," *J. Pengabd. Kpd. Masy. (Indonesian J. Community Engag.*, 2019, doi: 10.22146/jpkm.36470.
- [7] Foreign Agricultural Service (FAS), "Indonesia Coffee Annual Report 2016," 2016.
- [8] THE STATE OF FOOD AND AGRICULTURE, "CLIMATE CHANGE, AGRICULTURE AND FOOD SECURITY."
- [9] Asosiasi Eksportir Kopi Indonesia, "Statistik Kopi 1980-2005," 2005.
- [10] Muzammir, I. Mawardi, and S. Bahri, "MODIFIKASI KONSTRUKSI MESIN PENGUPAS KULIT ARI KOPI DENGAN DAYA 5 HP," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 2, no. 2, 2018.
- [11] E. Budiyanto, L. D. Yuono, and A. Farindra, "Upaya Peningkatan Kualitas dan Kapasitas Produksi Mesin Pengupas Kulit Kopi Kering," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, 2019, doi: 10.24127/trb.v8i1.926.
- [12] Kelik, V., Hengky, D. K., Kurniawan, D. Perancangan mesin pengupas dan pemisah kulit buah kopi kering. *J.Tek. Mesin Mercu Buana*. 2016; 5(2): p. 64-70.
- [13] Sahar, M., Al Dhaffa, M., Akhyan, A. Perancangan dinding pemecah pada mesin pengupas kulit kopi kering. *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*. 2020; 6(1): 32-41.
- [14] Sodik, A., Suharno, K., Widodo, S. Perancangan mesin pengupas kopi dengan menggunakan dua rol pengupas. *Wahana Ilmuwan*. 2016; 1(1).
- [15] M. B. Waldron and K. J. Waldron, Eds., *Mechanical Design: Theory and Methodology*, 1st ed. New York: Springer-Verlag, 1996.
- [16] U. Kannengiesser and J. S. Gero, "Can Pahl and Beitz' systematic approach be a predictive model of designing?," *Des. Sci.*, vol. 3, p. e24, Dec. 2017, doi: 10.1017/dsj.2017.24.
- [17] S. Mörsdorf, D. Neumann, J. Mohnke, and M. Vielhaber, "Beyond Sustainable Products – Concept for a Positive Impact Product Engineering (PIPE)," *Procedia CIRP*, 2022, doi: 10.1016/j.procir.2022.02.004.
- [18] J. Y. Zheng, M. W. Fu, and F. Zeng, "Design and Development of Multi-Scaled Metallic Parts and Structures," in *Encyclopedia of Materials: Metals and Alloys*, 2021.
- [19] C. McMahon, "Situation, Patterns, Exploration, and Exploitation in Engineering Design," *She Ji*, 2021, doi: 10.1016/j.sheji.2020.08.009.
- [20] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, and K. H. Grote, *Engineering design: A systematic approach*. 2007.
- [21] C. F. Kirschman and G. M. Fadel, "Classifying Functions for Mechanical Design," *J. Mech. Des.*, vol. 120, no. 3, pp. 475–482, Sep. 1998, doi: 10.1115/1.2829176.
- [22] D. G. Ullman, *The Mechanical Design Process*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
- [23] D. D. Lefever and K. L. Wood, "Design for Assembly Techniques in Reverse Engineering and Redesign," Aug. 1996, doi: 10.1115/96-DETC/DTM-1507.
- [24] M. B. Palungan, J. Dising, and S. Lande, "Desain Alat Pengupas Kulit Kopi Tanduk Untuk Meningkatkan Kualitas dan Kuantitas Biji Kopi," *J. Ind.*, vol. 2, no. 1, pp. 9–15, 2013.
- [25] S. I. Kuala, D. D. Hidayat, C. E. W. Anggara, and R. Saparita, "Characterization and Evaluation of Physical and Mechanical Properties of Unhulled Arabica Coffee Bean," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 251, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/251/1/012040.
- [26] E. Budiyanto, L. D. Yuono, and A. Farindra, "Upaya Peningkatan Kualitas dan Kapasitas Produksi Mesin Pengupas Kulit Kopi Kering," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, 2019, doi: 10.24127/trb.v8i1.926.
- [27] Sularso and K. Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 1987.
- [28] K. N. Nwaigwe, C. Nzediegwu, and P. E. Ugwuoke, "Design, construction and performance evaluation of a modified cassava milling machine," *Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.*, 2012.