



Perancangan Alat Pembersih Sisa Proses Fabrikasi Brake Piston Dengan Quality Function Deployment

Gusti Made Satyawira Riana^{1*}, Tri Widjatmaka², dan M. Hidayat Tullah²

¹Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Abstrak

Brake piston merupakan komponen dalam sistem pengereman kendaraan roda empat yang dapat diproduksi dengan metode cold forging. Bonderizing atau pelapisan lubrikan adalah salah satu metode yang membantu proses cold forging untuk mengurangi gesekan dan dampak yang tidak tergantikan. Pelapisan lubrikan pada permukaan material ini menyebabkan kerak yang menempel pada dasar brake piston setelah proses forging. Oleh karena itu, alat pembersih brake piston menjadi metode improvement yang diupayakan untuk menghadapi kendala yang terjadi di PT. X agar dampaknya dapat direduksi di periode mendatang dengan variasi desain yang bertambah. Quality function deployment (QFD) dipilih sebagai metode perancangan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan kebutuhan pengguna yaitu pihak industri. Setelah melalui QFD, dihasilkan rancangan alat yang memiliki sistem otomatis dengan bantuan arduino, pneumatik dan mekanisme bidang miring sederhana sebagai sistem otomasinya. Selain itu, aspek ergonomis, ekonomis dan aman pun dipertimbangkan dari hasil QFD yang diimplementasikan melalui pemilihan material serta pengujian dengan ANSYS.

Kata-kata kunci: Brake Piston, Bonderizing, QFD, Otomatis, Arduino.

Abstrak

Brake piston is a component in the braking system of four-wheeled vehicles that can be produced using the cold forging method. Bonderizing or lubricant coating is one method that helps the cold forging process to reduce friction and irreplaceable impact. The coating of lubricant on the surface of this material causes a crust that adheres to the base of the brake piston after the forging process. Therefore, the brake piston cleaning tool is an improvement method that is sought to deal with the obstacles that occur at PT. X so that the impact can be reduced in the future with increasing design variations. Quality function deployment (QFD) was chosen as a design method to get results that match the needs of users, namely the industry. After going through QFD, the resulting design of a tool that has an automatic system with the help of Arduino, pneumatics, and a simple inclined plane mechanism as an automation system. In addition, ergonomic, economical, and safe aspects are also considered in the QFD results which are implemented through material selection and testing with ANSYS.

Keywords: Brake Piston, Bonderizing, QFD, Automation, Arduino.

* Corresponding author E-mail address: Gusti.madesatyawirariana.tm18@mhs.w.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Sistem pengereman merupakan sistem yang sangat penting pada sebuah kendaraan karena selain berfungsi untuk menghentikan kendaraan, rem juga berfungsi untuk memperlambat kendaraan serta mempertahankan posisi kendaraan pada posisi tidak rata atau stabil. Rem menjadi aspek pendukung keselamatan paling utama pada sistem gerak sebuah kendaraan [1].

Piston rem adalah penerus gaya dorong yang diinisiasi oleh pengguna dengan perantara minyak atau hidrolik sehingga sepatu rem dapat menghentikan atau memperlambat kendaraan. Prinsip kerja dari jenis rem cakram adalah dengan memberikan gesekan terhadap piringan rem dengan kampas rem sehingga energi kinetik pada putaran roda berubah menjadi energi termal pada piringan rem [2]. PT. X merupakan salah satu produsen brake piston yang menggunakan metode *cold forging* dalam proses manufakturnya.

Cold forging merupakan proses fabrikasi yang digunakan secara luas pada industri otomotif karena kemampuannya untuk memproduksi keakuratan dimensi yang cukup tinggi, produktifitas yang tinggi dan juga hasil permukaan yang baik [3]. Proses *zinc phosphating* sangat erat kaitannya dengan proses *cold forging* atau *forming* karena proses *cold forging* secara umum rentan membahas tentang gesekan yang terpengaruh oleh tribologi [4]. Secara sederhana pelapisan ZnP terjadi ketika permukaan logam atau contohnya besi (Fe), teroksidasi pada dan atom Fe turut larut di dalam larutan asam fosfor yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia antara material logam terhadap atom seng (Zn) dan fosfat (P) [5].

PT. X dalam proses manufakturnya, menggunakan metode *zinc phosphating* yang dilanjutnya dengan pelumasan *bonderlube* atau disebut *bonderizing*. Proses ini terbukti efektif dalam menjaga kualitas proses tempa dingin untuk jarang mengalami cacat akibat retak ataupun cacat material lain. Namun dilain sisi, terdapat efek samping dari metode ini terhadap brake piston yang memiliki kontur seperti gelas sehingga ada kerak yang terbentuk pada dasar gelas dari hasil penempaan. Saat ini, PT. X menyelesaikan fenomena ini dengan penambahan proses secara khusus pada lini *final inspection*, yaitu operator perlu membersihkan kerak brake piston ini. Hal ini menjadi masalah pada periode Agustus 2021 hingga Januari 2022, saat terjadi kenaikan permintaan pelanggan akan brake piston, terdapat penumpukan pada proses *final inspection* sehingga menyebabkan berbagai masalah pada lini produksinya.

Mengantisipasi terjadinya masalah yang pernah dialami PT. X seperti di periode sebelumnya, maka dibutuhkan alat bantu untuk melakukan pembersihan terhadap kerak sisa proses fabrikasi *brake piston* ini. Pembuatan alat ini merupakan salah satu upaya pengembangan yang perlu dilakukan karena tidak mungkin hilangnya proses *bonderizing* pada alur proses manufaktur dan ditambah dengan rencana penambahan variasi *brake piston* di periode mendatang.

Untuk itu dilakukan perancangan untuk membuat alat yang dapat membantu proses pembersihan brake piston tanpa mengganggu lini produksi yang sudah berjalan dan juga mengganggu cara kerja dari operator. Metode *Quality Function Deployment* (QFD) dipilih sebagai alat untuk memenuhi perancangan yang dapat menyelesaikan masalah di PT. X. QFD dapat bermanfaat secara langsung maupun tidak langsung terhadap perusahaan yang menerapkannya, seperti penurunan biaya perancangan produksi karena rancangan sudah berdasarkan kebutuhan pelanggan/pengguna, efisiensi waktu karena produk akhir sudah melalui seleksi bertahap dari berbagai lini perusahaan, peningkatan moral dan kordinasi tim karena setiap lini perusahaan terlibat aktif serta fungsional selama perancangan hingga evaluasi, dan yang terpenting adalah peningkatan keuntungan untuk perusahaan karena produk yang dihasilkan tepat dan sesuai dengan kebutuhan pelanggan dan tidak membutuhkan biaya perancangan yang besar [6].

Hasil akhir yang diharapkan pada penelitian ini adalah terwujudnya rancangan alat untuk membersihkan kerak sisa proses fabrikasi brake piston yang dapat memiliki spesifikasi sesuai kebutuhan pengguna di PT. X sehingga dapat menjadi solusi sekaligus upaya pengembangan di periode mendatang.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah ini adalah *Quality Function Deployment* (QFD) karena perancangan yang dilakukan akan mengedepankan efisiensi biaya dan ketepatan fungsi serta desain. QFD memberikan keleluasan pada pelanggan atau pengguna untuk terlibat dalam perancangan sehingga desain yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan pelanggan secara penuh. QFD merupakan metode yang sudah banyak digunakan dalam industri, khususnya industri manufaktur, karena pengaruhnya yang dekat dan langsung terhadap pelanggan dalam bentuk barang ataupun jasa.

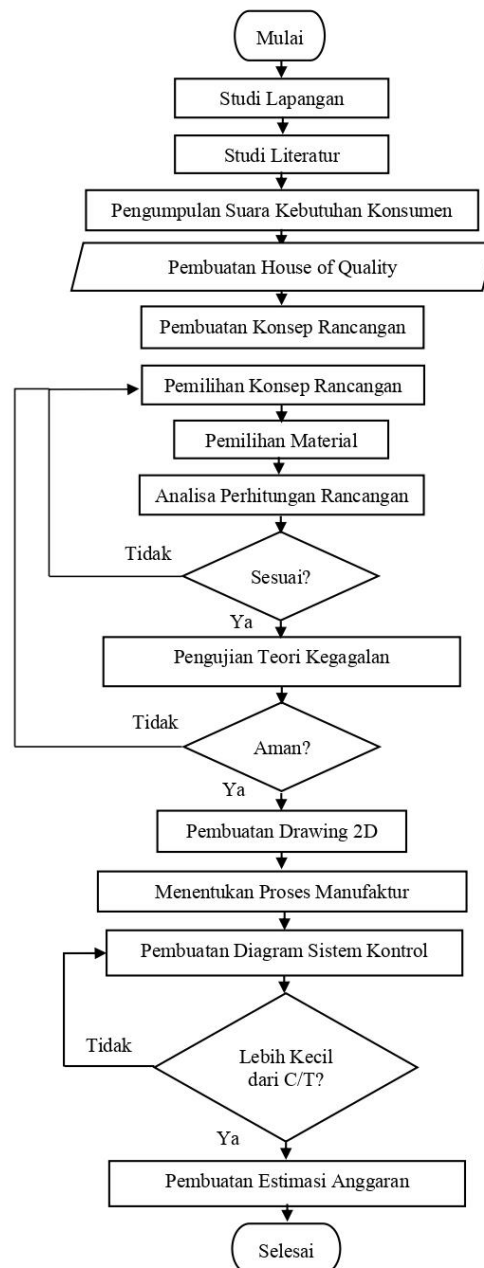
Penelitian awal terhadap desain alat bantu pembersih gelas bertujuan untuk menggantikan metode pembersihan gelas konvensional oleh pekerja pada sebuah rumah makan di Malang. Penelitian tersebut menemukan bahwa proses pembersihan gelas oleh operator dapat menyebabkan fatigue level yang relatif tinggi

jika tanpa alat bantu. Hasil akhir dari penelitian Thomas adalah turunya durasi yang dibutuhkan untuk membersihkan satu gelas hingga 72% dengan alat bantu mesin pembersih dengan poros pembersih horizontal dengan sumber putaran dari motor DC [7].

Selanjutnya mengembangkan penelitian terhadap rancang bangun pembersih gelas yang dengan penambahan mekanisme sistem kontrol dengan arduino sehingga alat dapat bekerja secara otomatis. Latar belakang masalah yang menjadi titik berat dari penelitian ini adalah lamanya proses pencucian gelas manual yang memakan waktu ± 30 detik untuk satu gelas dan ergonomi yang dari proses pencucian pada wastafel sehingga menyebabkan kelelahan yang tinggi. Perancangannya mendapat hasil bahwa desain yang ia buat dapat membersihkan gelas 67% lebih rendah dari waktu awal yaitu turun menjadi 10 detik/gelas. [8]

2.1 Diagram Alir Perancangan

Proses perancangan alat pembersih sisa fabrikasi brake piston mengacu pada tahapan – tahapan yang berurutan dan dapat divisualisasikan dengan diagram alir perancangan seperti di gambar 1.



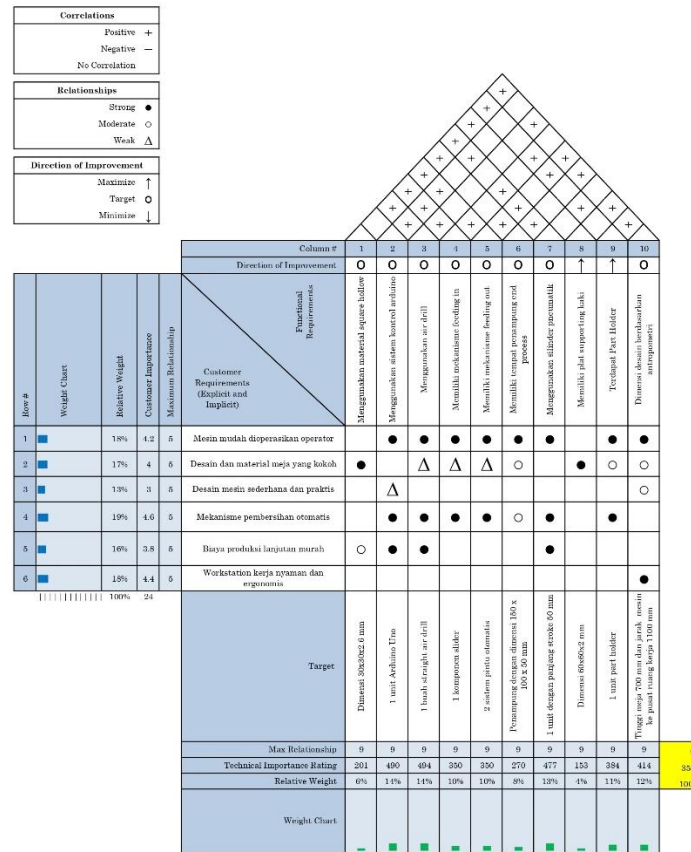
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Secara umum setiap tahapan dari proses perancangan ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Studi lapangan merupakan proses observasi masalah dan kondisi langsung di lapangan untuk mendapatkan gambaran jelas dari masalah yang akan diselesaikan.
2. Studi literatur adalah proses pencarian referensi dari jurnal dan penelitian dengan masalah atau desain yang serupa sebagai panduan dari perancangan.
3. Pengumpulan suara kebutuhan pelanggan merupakan proses survei dengan kuisioner terhadap pihak industri untuk memahami lebih detail masalah yang terjadi di lapangan dari perspektif berbagai lini dan mencari data kebutuhan dari desain yang dibuat untuk proses QFD. Proses ini ditujukan kepada *operator CNC Lathe, sub-leader produksi, leader produksi, leader divisi maintenance* dan *manajer produksi*.
4. Pembuatan HOQ adalah tahapan dari metode QFD yang terdiri dari pembuatan *voice of customer* berdasarkan data kebutuhan pelanggan sebelumnya, spesifikasi teknis atau *voice of engineer* yang dibuat berdasarkan perancang, *relationship matrix* yaitu hubungan antara VoC dan VoE, *technical correlation* adalah hubungan antar spesifikasi teknis untuk mengetahui kekuatan rancangan. Proses ini merupakan input untuk pembuatan konsep rancangan sekaligus output dari pengumpulan suara kebutuhan pelanggan.
5. Pembuatan konsep rancangan adalah proses perwujudan HOQ menjadi tiga desain untuk memperluas opsi dan inovasi agar bisa mendapatkan desain yang terbaik.
6. Pemilihan konsep adalah proses penyeleksian desain yang dibuat menjadi satu pilihan berdasarkan metode *screening* dan *scoring*. *Screening* adalah proses penyeleksian dengan membandingkan ketiga desain dengan kebutuhan pelanggan atau *benchmark* secara subjektif untuk mendapatkan dua desain terpilih. *Screening* adalah proses seleksi dengan penentuan bobot berdasarkan perancangan dan penghitungan bobot relatif berdasarkan bobot relatif kebutuhan pelanggan.
7. Pemilihan material merupakan proses yang dilakukan terhadap komponen yang akan difabrikasi berdasarkan perkiraan kekuatan material yang dibutuhkan dan estimasi harga yang realistis.
8. Analisa pembebanan dan penentuan dimensi dilakukan untuk mengetahui pembebanan yang diterima komponen yang mengalami pembebanan kritis dan menentukan dimensi dari komponen seperti baut, berdasarkan pembebanan yang dialami.
9. Jika pembebanan yang dialami masih sesuai dan tidak membahayakan desain maka proses dapat dilanjutkan, namun jika terjadi pembebanan yang berlebihan atau tidak masuk akal maka akan tahapan akan kembali untuk perbaikan desain terpilih.
10. Pengujian teori kegagalan adalah proses pengujian komponen kritis yang telah dihitung dengan *software* ANSYS dengan pengujian *tresca, von mises* dan deformasi yang dialami dengan kekuatan material yang dipilih.
11. Pembuatan drawing 2D atau gambar teknik adalah proses akhir dari perancangan komponen yang bertujuan untuk memberikan arahan fabrikasi melalui gambar teknik untuk setiap komponen.
12. Penentuan proses manufaktur adalah panduan terstruktur untuk perancangan dan perakitan setiap komponen yang dibantu dengan metode *routing sheet* sehingga alur proses dan waktu yang dibutuhkan dapat terarah.
13. Pembuatan diagram sistem kontrol dilakukan dengan bantuan aplikasi TinkerCAD untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus dan keberhasilan program sistem elektropneumatik yang dibuat. Jika waktu akhir dari satu siklus yang dihasilkan melebihi batas *cycle time* dari industri maka perlu dilakukan perbaikan pada rangkaian atau program dari sistem.
14. Pembuatan estimasi anggaran adalah proses yang dilakukan untuk memvalidasi kemampuan desain untuk dibuat berdasarkan biaya material yang digunakan untuk setiap komponen. Harga material yang digunakan mereferensi dari harga yang ada di pasaran. Perhitungan estimasi anggaran mengesampingkan biaya proses dan energi yang dibutuhkan selama pembuatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

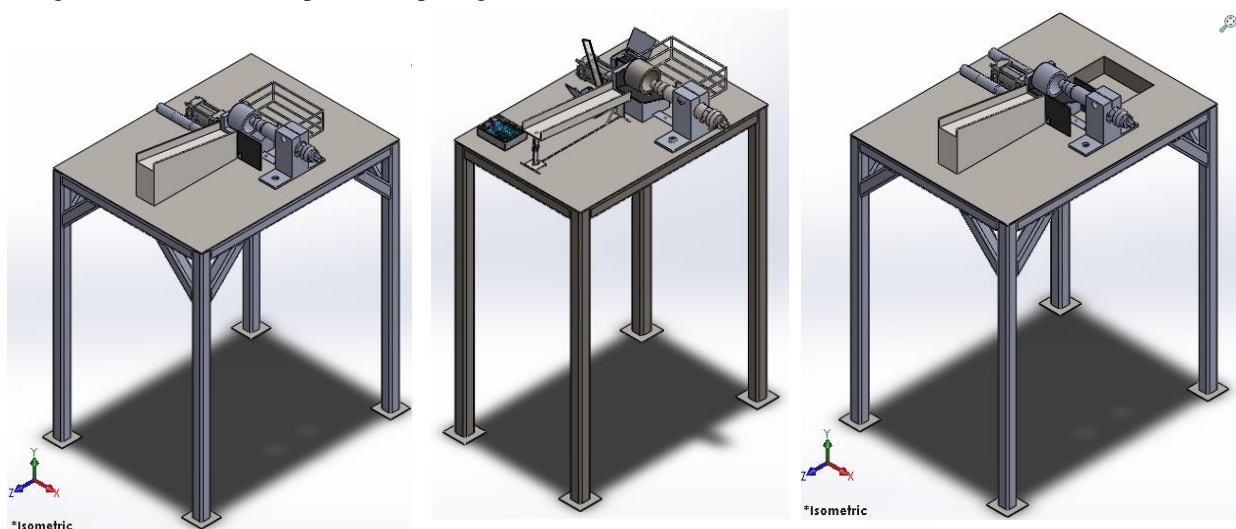
Hasil dari penelitian menggunakan metode QFD didapatkan informasi terkait perancangan melalui HOQ sebagai berikut :



Gambar 3 Diagram House of Quality

HOQ yang telah dibuat menghasilkan spesifikasi teknis yang telah terdefinisi dengan target teknis untuk diimplementasikan pada perancangan. Target teknis yang dihasilkan pun memiliki pembobotan matematis berdasarkan penilaian matriks keterhubungan antara spesifikasi teknis dengan kebutuhan pelanggan. Pembobotan ini kemudian digunakan dalam pembuatan konsep untuk mengetahui arah dan prioritas desain yang akan dibuat.

Berdasarkan HOQ didapatkan tiga alternatif desain dengan kelebihan dan kekurangan masing-masing. Ketiga alternatif tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 3 Konsep 1 (kiri), konsep 2 (tengah), dan konsep 3 (kanan).

Ketiga memiliki komponen dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing yang dapat dijelaskan dengan tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan Desain Alternatif

Alternatif	Inovasi Komponen	Kelebihan	Kekurangan
1	<ol style="list-style-type: none"> Supporting Ribs Vblock untuk Clamp Material Material pintu dari logam + karet Pintu dengan Pneumatik Meja lebih besar 	<ol style="list-style-type: none"> Meja yang lebih kokoh Desain sederhana Sistem kontrol sederhana Clamp lebih stabil Pergerakan pintu yang cepat 	<ol style="list-style-type: none"> Perpindahan material lebih sulit Mahal Desain kurang ergonomis Material boros
2	<ol style="list-style-type: none"> Pintu dengan servo motor Clamp material dengan slider + lapisan karet Tempat material dengan elevating slider Tanpa ribs 	<ol style="list-style-type: none"> Desain meja lebih ergonomis dan efisien Lebih murah Fungsi tempat material yang fleksibel Otomasi yang terkendali Perpindahan material mudah 	<ol style="list-style-type: none"> Desain lebih rumit Sistem kontrol lebih rumit Fabrikasi yang lebih rumit
3	<ol style="list-style-type: none"> Supporting Ribs Clamp Material dengan slider + lapisan karet Material pintu dari logam + karet Pintu dengan Pneumatik Meja lebih besar Penampung material berupa built-in box pada meja 	<ol style="list-style-type: none"> Meja yang kokoh dan aman Perindahan material mudah Gerakan pintu yang responsif Mampu menampung cairan pelumas untuk material Desain sederhana 	<ol style="list-style-type: none"> Lebih mahal Desain kurang efisien Fabrikasi lebih rumit Material berisiko lecet Material boros

Berdasarkan tabel 1, diketahui bahwa setiap desain memiliki kelebihan dan kekurangan yang variatif berdasarkan jenis komponen dan desain komponen yang digunakan. Alternatif 1 memiliki pembeda pada pencekam material dengan *v-block* yang lebih sentris, *supporting ribs* pada setiap tumpuan rangka yang memberikan keamanan, dan meja yang lebih luas. Alternatif 2 memberikan kelebihan pada tempat *before-process material* dengan *elevating slider* yang fleksibel, sistem pintu otomatis dengan motor servo dan pencekam material dengan *sliderblock* dan bantuan pintu. Alternatif 3 memiliki perbedaan pada tempat penampung material yaitu dengan kotak yang tergabung pada plat meja, *supporting ribs* pada setiap kaki meja, dan dua silinder pneumatik untuk pintu otomatisnya. Ketiga perbedaan ini yang akan membantu proses penilaian pada *screening* dan *scoring* agar lebih relevan.

Setelah mengetahui kelebihan dan kekurangan secara desain, dilakukan metode *screening* dan *scoring* untuk mendapatkan pilihan desain yang paling tepat secara kualitatif dan kuantitatif. Penyaringan konsep merupakan proses untuk mengerucutkan alternatif yang sebelumnya tiga pilhan menjadi hanya dua pilihan dengan melakukan penilaian berdasarkan pertimbangan subjektif oleh perancang. Sedangkan proses penilaian konsep adalah proses pembobotan numerik setiap desain alternatif yang dibandingkan dengan *customer requirement* ataupun *benchmark* dari pasaran. Hasil dari metode *screening* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Proses Screening

Kriteria Seleksi	Desain		
	1	2	3
Mesin mudah dioperasikan oleh operator	-	+	0
Desain dan material meja yang kokoh	0	0	+

Kriteria Seleksi	Desain		
	1	2	3
Desain mesin sederhana dan praktis	+	0	-
Mekanisme pembersihan brake piston yang otomatis	-	+	+
Biaya produksi lanjutan murah	+	0	0
Workstation nyaman dan ergonomis	0	+	+
Total (+)	1	3	3
Total (0)	3	3	2
Total (-)	2	0	1
Nilai Akhir	0	3	2
Ranking	3	1	2
Keputusan Lanjutan	NO	YES	YES

Proses *screening* pada tabel 2 berfungsi untuk menyeleksi ketiga desain dengan penilaian subjektif oleh perancang dengan simbol yang memiliki makna bahwa desain lebih baik, sama dengan atau lebih buruk dari pembanding. Hasil penilaian ini menunjukkan ranking atau posisi antara ketiga desain dan kemudian mengeliminasi desain dengan posisi terendah yaitu desain 1. Kedua desain yang lolos dari proses *screening* akan melanjutkan proses *scoring*. Proses *scoring* dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 3 Proses Scoring

No	Kriteria Seleksi	Bobot (%)	Desain Alternatif			
			2		3	
			Nilai	Bobot (%)	Nilai	Bobot (%)
1	Mesin mudah dioperasikan operator	18%	5	0.88	4	0.70
2	Desain dan material meja yang kokoh	17%	4	0.67	3	0.50
3	Desain mesin sederhana dan praktis	13%	3	0.38	2	0.25
4	Mekanisme pembersihan otomatis	19%	4	0.77	4	0.77
5	Biaya produksi lanjutan murah	16%	3	0.48	2	0.32
6	Workstation kerja nyaman dan ergonomis	18%	3	0.55	3	0.55
Hasil Total			3.71		3.08	
Ranking			2		1	
Keputusan Lanjutan			YES		NO	

Tabel *scoring* menjelaskan perhitungan bobot relatif dari 2 desain yang tersisa. Perhitungan bobot relatif dimulai dengan menentukan penilaian kuantitatif antara desain alternatif dengan spesifikasi teknis yang didapatkan sebelumnya. Selanjutnya bobot yang telah diberikan dikalikan dengan dengan bobot relatif dari spesifikasi teknis yang didapat dari proses HOQ.

Pada tabel proses *scoring*, diketahui bahwa desain kedua memiliki total nilai pembobotan tertinggi karena memiliki spesifikasi teknis yang lebih baik dari kebutuhan yang diinginkan pelanggan. Maka, desain kedua lah yang akan dipilih sebagai desain yang akan dilanjutkan untuk ditentukan material, pengujian pembebanan dan penentuan proses manufaktur sehingga dapat dihasilkan rancangan alat pembersih sisa proses fabrikasi yang paling relevan dengan kebutuhan pelanggan dan fungsional secara teknis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dengan metode quality function deployment didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Customer requirement atau kebutuhan pelanggan dengan 3 pembobotan tertinggi yang dibutuhkan pelanggan adalah mesin yang mudah dioperasikan oleh operator, workstation yang nyaman dan ergonomis dengan bobot keduanya sebesar 18% serta mekanisme pembersihan otomatis dengan bobot 19%.
2. Target teknis dengan 3 pembobotan tertinggi yaitu '1 unit pneumatik silinder dengan panjang stroke 50 mm' dengan bobot 13%, '1 buah straight air drill' dan '1 buah arduino uno' dengan bobot keduanya sebesar 14%.
3. Berdasarkan pembobotan pada HOQ didapatkan prioritas spesifikasi yang diinginkan pengguna adalah alat yang dapat membantu kerja operator dengan sistem kerja otomatis namun masih mempertimbangkan kemudahan serta kenyamanan operator dalam menggunakannya.
4. Konsep desain terpilih melalui metode screening dan scoring dengan spesifikasi : memiliki elevating slider, menggunakan slider clamp, menggunakan servo motor untuk pintu, serta desain meja yang lebih ringkas dan ergonomis.

REFERENSI

- [1] I. Prasetyo, "Perbandingan Jumlah Piston Caliper Rem Cakram Terhadap Jarak Dan Waktu Pengereman Pada Sepeda Motor 110 Cc," *Elem. J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 86–92, 2020.
- [2] Darto, I. M. Sunada, and Roman, "Analisis Komparasi Struktur dan Termal," pp. 117–124.
- [3] A. Temmler, M. Comiotto, I. Ross, M. Kuepper, D. M. Liu, and R. Poprawe, "Surface structuring by laser remelting of 1.2379 (D2) for cold forging tools in automotive applications," *J. Laser Appl.*, vol. 31, no. 2, p. 022017, 2019, doi: 10.2351/1.5070077.
- [4] R. Lorenz, H. Hagenah, and M. Merklein, "Experimental evaluation of cold forging lubricants using double-cup-extrusion-tests," *Mater. Sci. Forum*, vol. 918 MSF, pp. 65–70, 2018, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.918.65.
- [5] M. Doerre, L. Hibbitts, G. Patrick, and N. K. Akafuah, "Advances in automotive conversion coatings during pretreatment of the body structure: A review," *Coatings*, vol. 8, no. 11, 2018, doi: 10.3390/COATINGS8110405.
- [6] S. Andjar Sari, P. Vitasari, and S. L. A., "Pengembangan Desain Mesin Penghancur Kotoran Kambing Dengan Menggunakan Metode QFD," *J. Teknol. Dan Manaj. Ind.*, vol. 4, no. 2, pp. 29–34, 2018, doi: 10.36040/jtmi.v4i2.243.
- [7] T. Priyasmanu and M. H. A. Tiono, "Perancangan Alat Pencuci Gelas Semi Otomatis Dengan Menggunakan Prinsip Ergonomi," *Ind. Inov.*, vol. 3, no. 2, pp. 5–8, 2013.
- [8] Achmad Odhi Arviano, M. Maulidina, and M. Dewi Manikta Puspitasari, "Arduino Nano, Gelas, Pencuci Gelas Otomatis," vol. 4, no. 2, pp. 98–103, 2021.