Perancangan dan Pengembangan Produk Mesin CNC Mini 3 Axis dengan Metode Quality Function Development (QFD)

Maulana Rizqi Mahendra[1], Ahmad Anas Arifin[2]
Jurusan Teknik Mesin, Insitut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
e-mail: anas.arifin@itats.ac.id,

ABSTRACT

Manufacturing refers to one of the sciences in mechanical engineering that studies the manufacture of a product, beginning with the design, idea, and manufacturing process. It starts with the identification of the initial product design using the QFD method and continues with the improvement of the product design using the DFMA method. The data was retrieved by making 2 concept designs to be compared with the existing design. The results indicated the DFM of the existing design was 100 minutes, 47 seconds, and the DFA Index of the existing design was 21.58 percent. Meanwhile, Concept Design 1 got DFM = 69 minutes 35 seconds and DFA Concept Design Index 1 = 54.06 percent, but Concept Design 2 gained DFM = 70 minutes 45 seconds and DFA Index = 51.33%. The selection of the best concept among the existing machines, design concept 1, and design concept 2, was based on the criteria and parameters of other comparators. Of all the assessments that have been carried out among the existing machines, concept designs 1, and concept designs 2, the absolute value or relative value of concept 1 was the largest by 4.16 (37.71%). In other words, concept design 1 became the best.

Kata kunci: *Quality Function Deployment (QFD), DFMA (Design for Manufacture and Assembly), Mini CNC Milling Machine*

ABSTRAK

Manufaktur adalah salah satu ilmu dari teknik mesin yang mempelajari tentang pembuatan suatu produk, yang berawal dari desain, ide,dan proses pembuatan. Diawali dengan identifikasi desain produk awal dengan metode Quality Function Deployment (QFD), kemudian dilanjutkan dengan perbaikan rancangan produk menggunakan metode DFMA. Pengambilan data dibuat dengan cara mebuat 2 desain konsep pembanding untuk dibandingkan dengan desain existing. Hasil menunjukkan bahwa DFM Desain Existing = 100 menit 47 detik dan DFA Index Desain Existing = 21.58 %, Desain Konsep 1 didapat DFM = 69 menit 35 detik dan DFA Indek Desain Konsep 1 = 54,06 %, Desain Konsep 2 didapat DFM = 70 menit 45 detik dan DFA Index Desain Konsep 2 = 51,33 %. Pemilihan konsep terbaik antara mesin Existing dengan konsep desain 1 dan konsep desain 2 berdasarkan kriteria serta parameter pembanding yang lain. Dari semua assessment yang telah dilakukan antara mesin Existing dengan Desain Konsep 1 dan 2, diperoleh nilai absolut atau nilai relative dari konsep 1 adalah paling besar yaitu 4,16 (37,71%). Dengan hasil tersebut dapat dikatakan Desain Konsep 1 adalah yang terbaik.

Kata kunci: Quality Function Deployment (QFD), DFMA (Design for Manufacture and Assembly), Mini CNC Milling Machine.

PENDAHULUAN

Mesin milling pertama kali dikembangkan untuk memproduksi suku cadang secara massal oleh Eli Whitney pada tahun 1818, selama revolusi industri. Mereka dapat digunakan untuk slotting, boring, milling melingkar, membagi, mengebor, memotong jalur kunci, rak, dan roda gigi[1]. Mesin Computer Numerical Control (CNC) adalah peralatan mesin yang melakukan bentuk produk yang diinginkan yang dioperasikan oleh program yang dikendalikan komputer menggunakan kode alfanumerik tertentu dengan perintah data kode angka, huruf, dan simbol [2]. Dalam sistem CNC, desain produk dibuat dengan computer-aided design (CAD) dan dibuat dengan program computer-aided manufacturing (CAM)[3]. Mesin milling CNC menghasilkan komponen presisi yang unik, pembuatan prototipe, dan bagian yang kompleks[4]. Dalam sistem CNC modern, desain komponen berbasis end-to-end otomatis menggunakan program computer-aided design (CAD) dan computer-aided manufacturing (CAM). Peralatan mesin CNC dikendalikan menggunakan unit kontrol yang dapat disimpan, dimodifikasi, dan ditingkatkan. Pemrograman alat mesin CNC dapat dilakukan langsung menggunakan keyboard dan layar melalui jaringan komputer atau ditransfer dengan USB.

ISSN 2775-5630

Alat mesin CNC yang disajikan dalam makalah ini pada dasarnya adalah mesin untuk pengajaran dan dapat dibuat dengan komponen yang tersedia dengan biaya rendah dan satu komputer yang kompatibel, bertindak sebagai host untuk perangkat lunak CNC. Pemrograman operasi pemesinan dilakukan melalui pemanfaatan kode G dan tidak berbeda dengan praktik yang biasa dilakukan di lapangan. Oleh karena itu, mesin CNC mini yang diusulkan dapat menjadi bagian yang berfungsi untuk bidang pengajaran dan diharapkan dapat menghilangkan masalah yang mungkin timbul dalam pengadaan peralatan. Investasi yang signifikan dapat dikurangi karena mesin dapat dengan mudah direplikasi[5]. Mesin untuk pengajaran sangat diminati oleh sejumlah besar sekolah menengah kejuruan (SMK). Hal ini dikarenakan SMK mengalami kesulitan dalam mendapatkan peralatan khusus CNC dengan harga yang tinggi.

TINJAUAN PUSTAKA

Quality Function Deployment (QFD)

Quality Function Deployment (QFD) dapat diartikan sebagai sebuah metode yang dipakai untuk mengetahui keinginan konsumen akan produk danjasa, produk, permintaan dan harapan. Quality Function Deployment juga merupakan metode pengembangan produk baru yang menjadi bagian dari konsep Total Quality Management. QFD bertujuan untuk meningkatkan kualitas dari sebuah produk dan bertujuan mendapatkan biaya manufaktur atau produksi rendah, dengan cara mendesain produk sesuai dengan kebutuhan dan harapan dari setiap konsumen[6].

QFD merupakan metode yang berorientasi pada kepuasan konsumen, hampir seluruh bidang pelayanan memanfaatkkan metode QFD ini dengan cara aplikasi dan media yang berbeda. QFD di mulai dengan mendengar suaradari konsumen sebagai masukan yang penting, dilanjutkan dengan bagaimanacara merespon suara konsumen tersebut kedalam bentuk sistematis. Hal ini menjelaskan bahwa nilai kualitas sudah direncanakan dalam rancangan produk. Produk yang dimaksud disini dapat bersifat hard maupun soft,sehingga pengembangan jasa juga termasuk dalam area ini.

Design For Manufacture (DFM)

Design For Manufacture (DFM) adalah salah satu metode yang integratif yang terlibat dalam pengembangan produk dengan memanfaatkan beberapa informasi, diantaranya sketsa, gambar, spesifikasi produk, dan alternatif design. DFM bertujuan untuk menentukan desain produk yang dapat meningkatkan kualitas produk dan memudahkan proses manufaktur. Dengan meggunakan metode ini kita dapat mengetahui bagian mana yang harus dirubah dan tetap dipertahankan dengan mengacu pada proses manufakturnya, antara lain yaitu : Kemudahan dalam membuat maupun mengerjakan produk, keamanan dari proses pengerjaan produk hingga fungsi dari bagian produk[7]. Dalam metode DFM ini dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dan pemilihan antara desain 1 dan desain lainnya yang dapat direalisasikan ke dalam proses manufaktur.

Design For Assembly (DFA)

Design For Assembly (DFA) adalah salah satu dari beberapa metode desain yang ditujukan untuk meminimalisasi jumlah part atau komponen penyusun yang dirakit dalam sebuah produk[8]. Pendekatan pada metode DFA yaitu dengan memperoleh nilai DFA Index. DFA sendiri bisa diartikan sebagai metode pengembangan yang digunakan untuk mempermudah dan menekan waktu perakitan dengan menjaga fungsi dari produk serta memperhatikan faktor keamanan dan keselamatan kinerja.

Di dalam peningkatan kinerja sistem kerja selalu dapat diukur baik dengan cara kuantitatif, kualitatif atau efisiensi perancangan. Beberapa jenis perakitan antara lain yaitu :

1. Proses Perakitan dengan Penanganan
2. Proses Perakitan dengan Penyisipan
3. Proses Perakitan dengan Penggabungan

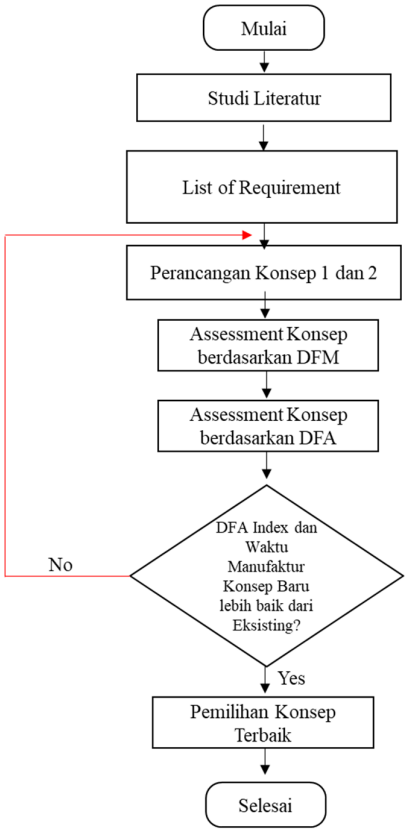
Tahapan Konsep Pengembangan

Tahapan pengembangan konsep adalah bagian terpenting dari pengembangan produk. Karena hal ini digunakan untuk menjelasakan beberapa fungsi produk yang berguna untuk menyatukan permasalahan pengembangan produk dari awal hingga selesai.

ISSN 2775-5630

METODE

Pada Gambar 1 dapat dilihat mengenai langkah langkah penelitian, bahan dan materi penelitian, data yang diperlukan serta cara identifikasi dan analisis yang akan digunakan dengan menampilkan rangkaian proses dalam sebuah diagram alir sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Assessment berdasarkan DFM dan DFA dilakukan dengan tujuan membandingkan kecepatan proses waktu manufaktur pada part tertentu dari mesin Existing dengan desain konsep mesin pengembangan. Selain itu untuk mendapatkan dan membandingkan nilai efisiensi waktu rakit antara mesin Existing dengan desain konsep mesin pengembangan[9]. Nilai DFM akan dibandingkan dengan cara menggunkan software CAM seperti Masetercam atau SolidworksCam. Untuk DFA akan dibandingkan dengan menggunakan nilai DFA Index (Formula 1), sebagai acuan efisiensi terhadap waktu rakit dari mesin Existing maupun desain konsep mesin pengembang. Untuk menghitung waktu rakit pada desain konsep pengembangan yaitu dengan menggunakan tabel waktu rakit Boothroyd dan Dewhurst[10]. (Insert Time + Handling Time).

Setelah mendapatkan nilai dari setiap Assessment maka hal yang dilakukan selanjutnya adalah pemilihan konsep. Pemilihan konsep ini bertujuan untuk menentukan konsep yang terbaik dari konsep Existing dan konsep desain pembanding dengan meninjau setiap nilai Assessment. Nilai yang diperhatikan dalam pemilihan konsep ini adalah nilai bobot dari setiap kriteria, rate dan skor. Selanjutnya setelah mendapatkan nilai bobot, rate, dan skor maka dapat diperoleh nilai absolut dan relatif dari konsep Existing dan konsep pembanding yang digunakan sebagai penentu konsep terbaik.

Rumus DFA Index menurut Boothroyd dan Dewhurst yaitu:

$$E = NM.\frac{Ta}{Tm}x100\% \quad \ldots(1)$$

Dimana :

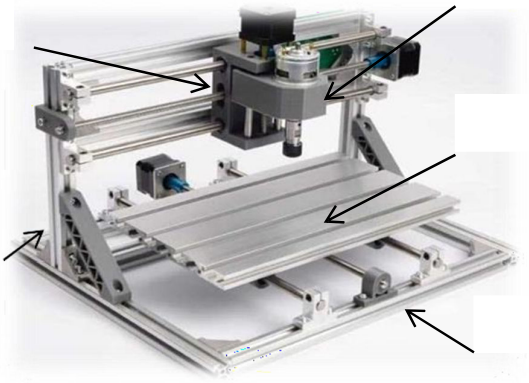
E : Efisiensi (%)

ISSN 2775-5630

NM : Jumlah Subassembly
Ta : Waktu Perakitan Minimum (s)
Tm : Waktu Rakit antar Subassembly (s)

HASIL DAN PEMBAHASAN

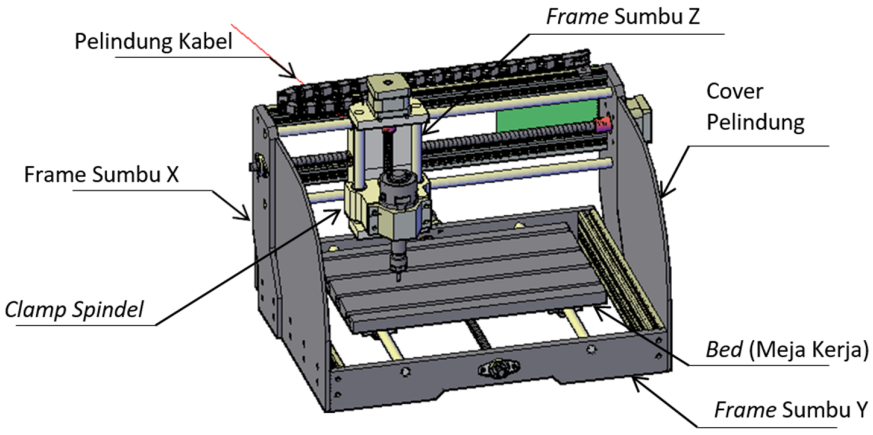
Mesin Eksisting



Gambar 2. Mesin Cnc milling mini *Existing*

Mesin eksisting dapat dilihat pada gambar 2. Mesin eksisting terdiri dari Frame X, Y, Z, Clamp, dan Bed. Rangka (Frame) pada sumbu X menggunakan aluminium profile 2020 panjang 360 mm = 2 pcs dan panjang 220 mm = 2 pcs, aluminium profile corner angle 2020 = 4 pcs, besi stainless Ø10 x 330 mm, lead screw Ø8 x 330 mm, pillow block bearing lead screw M8. Stepper Motor 12 V, Baut L M5 dan T-Slot M5. Hampir sama dengan sumbu X, Rangka (Frame) pada sumbu Y menggunakan aluminium profile 2020 panjang 360 mm = 3 pcs dan panjang 330 mm = 2 pcs, aluminium proile corner angle 2020 = 6 pcs, besi stainless Ø10 x 400 mm, lead screw Ø8 x 400 mm, pillow block bearing lead screw M8, pillow block bearing PVC M10 = 4 pcs, Stepper Motor 12 V, Baut L M5 dan T-Slot M5. Pada frame sumbu Z terbuat dari plastic PVC dengan dimensi 58 x 68 x 100 mm, terdapat linear ball bearing m10 = 4 pcs, copper nut M8, dan Stepper Motor 12 V. Clamp Spindel terbuat dari plastic PVC 35 x 60 x 85 mm M4 x 35 mm dengan lubang spindel motor Ø 44 mm. Clamp Material mesin ini hanya dari baut segienam M6 x 35 mm, Ring OD Ø18 mm tebal 1,5 mm.dan untuk pengunci menggunakan mur kupu-kupu M6. Bed ini memiliki area kerja 15 x 180 x 300 mm, dengan lubang T-slot untuk M6.

Desain 1

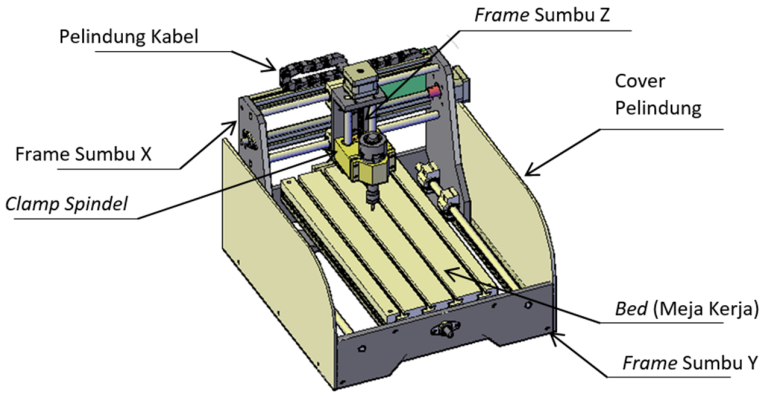


Gambar 3. Desain Konsep 1

ISSN 2775-5630

Desain Opsi 1 memiliki model yang berbeda dari *Existing*, yaitu dengan membuat desain part baru untuk Frame Sumbu Y, Sumbu X, Sumbu Z, dan *Clamp Spindle* yang memiliki kelebihan dari segi *assembly* dan juga menambahkan pelindung kabel dan cover mesin. Detail gambar dapat dilihat pada gambar 3.

Desain 2



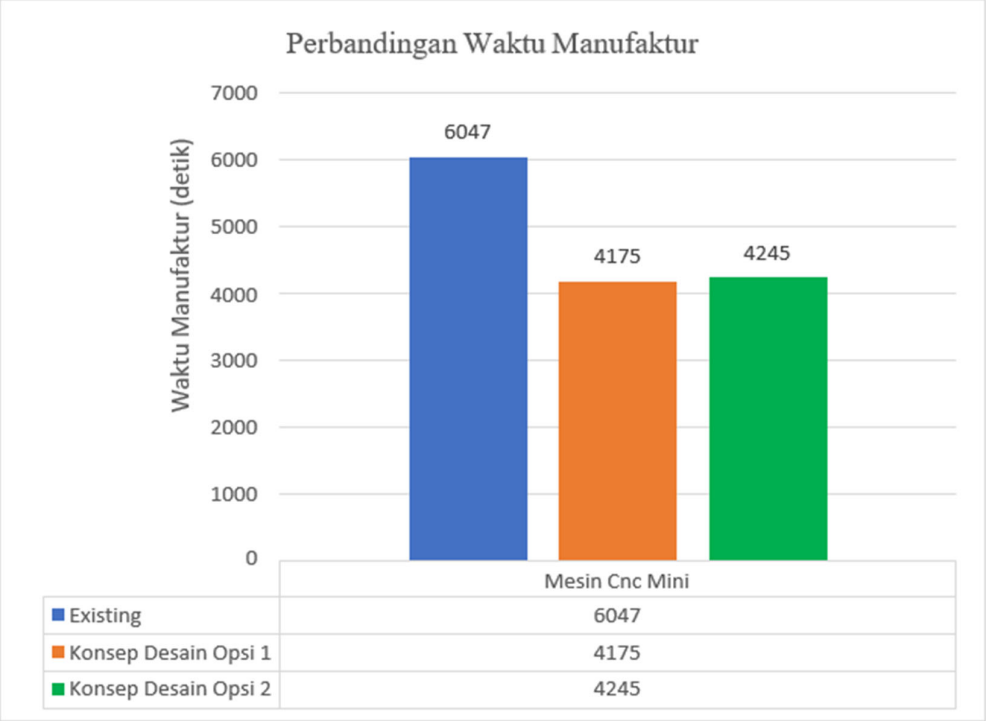
Gambar 4. Desain Konsep 2

Pada desain konsep 2 ini memiliki desain yang berbeda dibanding dengan konsep 1, perbadaan terdapat pada desain Frame Sumbu Y, Sumbu X, Sumbu Z, *Clamp Spindle*, dan *Clamp Material.* Pada sumbu Z menggunakan *linear motion bearing*, Ukuran meja yang lebih besar daridesain 1 maupun *existing.* Detail gambar dapat dilihat pada gambar 4.

Nilai DFM

Tabel 1. Perbandingan Nilai DFM

Nama Part	**Waktu Manufaktur**		
	Existing	**Konsep 1**	**Konsep 2**
Frame Sumbu X	47 menit 05 detik	20 menit 05 detik	22 menit 60 detik
Frame Sumbu Z	40menit 45 detik	33 menit 50 detik	32 menit 50 detik
Clamp Spindle	13 menit 02 detik	15 menit 30 detik	14 menit 55 detik
Total	100 menit 47 detik	69 menit 35 detik	70 menit 45 detik



Gambar 5. Grafik Perbandingan Waktu Manufaktur

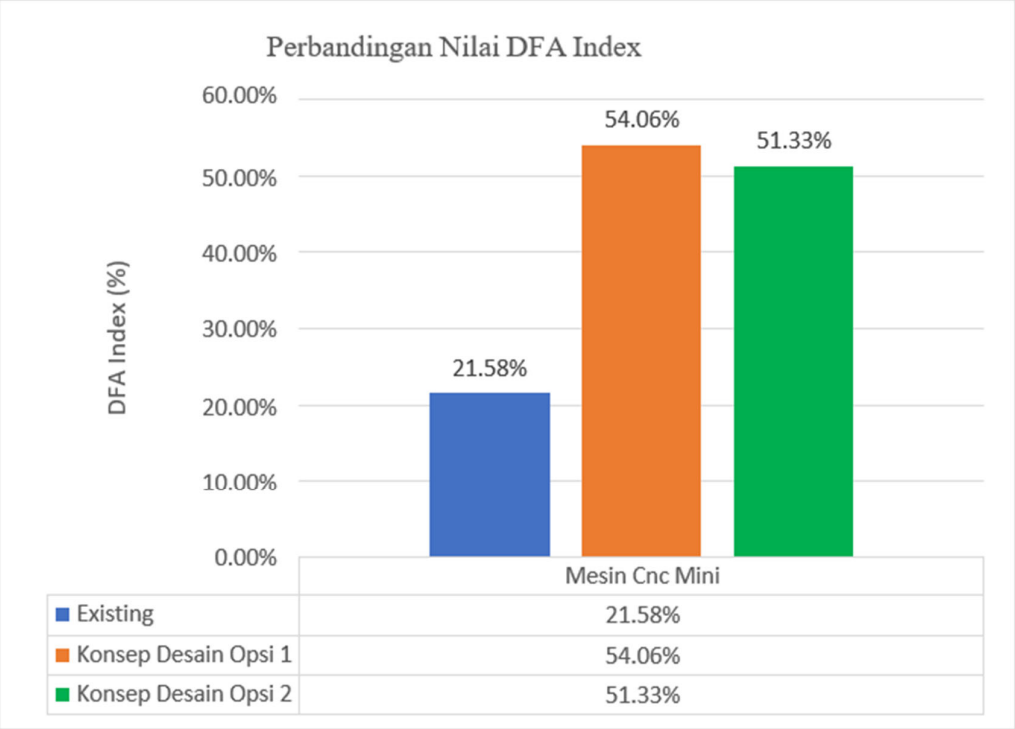
Dari Tabel 1 dan Gambar 5 di atas didapatkan waktu manufaktur tercepat adalah Desain Mesin Konsep 1, dengan total waktu manufaktur 4175 detik atau 69 menit 35 detik. Hal ini disebabkan karena toolpath yang dibutuhkan untuk membuat konsep 1 lebih pendek dibandingkan konsep 2 dan eksisting. Panjang toolpath akan mempengaruhi waktu manufaktur yang dibutuhkan[11]. Selain ini konsep 1 memiliki part yang mempunyai topology yang mudah untuk dimanufaktur. Beberapa faktor inilah yang menyebabkan konsep 1 memiliki waktu manufaktur yang paling cepat.

Nilai DFA

Tabel 2. Perbandingan Nilai DFA

Nama	Waktu Rakit (s)	Part Penyusun (Pcs)	DFA Index (%)
Mesin CNC Eksisting	1543	218	21,58
Konsep Desain Opsi 1	892,92	116	54,06
Konsep Desain Opsi 2	998,55	117	51,33

ISSN 2775-5630



Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai DFA Index

Dari Tabel 2 dan Gambar 6 di atas diperoleh DFA Index tertinggi adalah Desain Mesin Konsep 1, dengan nilai 54,06%. Hal ini sangat dipengaruhi dengan jumlah part dan tingkat kesulitan assembly yang disimulasikan. Konsep 1 memiliki nilai yang paling tinggi karena jumlah part yang lebih sedikit dan mudah untuk dirakit.

Pemilihan Konsep Terbaik

Pemilihan konsep terbaik antara mesin Existing dengan konsep desain 1 dan konsep desain 2 berdasarkan kriteria serta parameter pembanding yanglain, ditampilkan dalam tabel berikut:

Keterangan Nilai Rate:

2 tingkat Dibawah Existing	1
Di bawah Existing	2
Existing / Sama dengan Existing	3
Di atas Existing	4
2 tingkat Diatas Existing	5

Tabel 3. Penilaian Konsep

Kriteria	Bobot	Existing		Konsep 1		Konsep 2	
		Rate	Skor	Rate	Skor	Rate	Skor
1	13,95 %	3	0,42	3	0,42	4	0,56
2	14,39 %	3	0,43	5	0,72	4	0,57
3	15,70 %	3	0,47	5	0,78	5	0,78

4	14,24 %	3	0,43	5	0,71	4	0,57
5	13,95 %	3	0,42	3	0,42	2	0,28
6	13,52 %	3	0,40	4	0,54	4	0,54
7	14,24 %	3	0,43	4	0,57	4	0,57
Total	100%						
Total Absolut			3,00		4,16		3,87
Total Relatif			27,20 %		37,71 %		35,08 %

Berdasarkan assessment yang telah dilakukan antara mesin Existing dengan Desain Konsep 1 dan 2, diperoleh nilai absolut atau nilai relative dari konsep 1 adalah paling besar yaitu 4,16 (37,71%). Dengan hasil tersebut dapat dikatakan Desain Konsep 1 adalah yang terbaik. Hasil dapat dilihat pada tabel 3.

KESIMPULAN

Dari hasil perbandingan dan analisa setiap Assessment Konsep Desain, maka dapat disimpulkan bahwa Konsep terbaik adalah Desain Konsep 1. Beberapa Part banyak yang dirubah dan ditambahkan untuk pengembangan mesin adalah Frame Sumbu X ,Y, dan Z yang didesain ulang agar lebih mudah saat dirakit. Selain itu, Cover dan Pelindung Kabel merupakan hal yang esensial dalam keamanan pengguna. Desain Clamp yang mudah digunakan dan meja yang lebih besar juga menjadi poin penting untuk meningkatkan kualitas mesin CNC mini. Berdasarkan Assessment berdasarkan Nilai DFM, Desain Konsep 1 adalah konsep terbaik dengan total waktu manufaktur selama 69 menit 35 detik. Berdasarkan nilai DFA, konsep Desain 1 adalah konsep terbaik dengan hasil DFA Index sebesar 54,06 %. Secara keseluruhan requirement, Desain terbaik berdasarkan Assessment dan Penilaian konsep adalah Desain Konsep 1, dengan nilai absolut 4,16 (37,71%).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan pada Jurusan Teknik Mesin ITATS atas bantuannya untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. R. Saharkar and G. M. Dhote, “Prototype development of Milling Machine using CAD/CAM,” *Int. J. Sci. Res.*, vol. 4, no. 8, pp. 1078–1083, 2015.
[2] K. Bangse, A. Wibolo, and I. K. E. H. Wiryanta, “Design and fabrication of a CNC router machine for wood engraving,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1450, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1450/1/012094.
[3] M. Prashil, N. Patel, M. Shreyas, D. Pavagadhi, and S. G. Acharya, “Design and Development of Portable 3-Axis CNC Router Machine,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, pp. 1452–1455, 2019, [Online]. Available: www.irjet.net.
[4] L. A. Khan, U. Mehtab, E. U. Hasan, and Z. Hussain, “Design and Fabrication of a CNC Machine for Engraving and Drilling,” *Int. Interdiscip. J. Sci. Res.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–7, 2014.
[5] S. Živanović, M. Glavonjić, D. Milutinović, N. Slavković, Z. Dimić, and V. Kvrgić, “Educational system EDUMAT for Programming CNC machine,” in *Proc. National Conference with international participation RPPO13*, 2013, pp. 298–305.
[6] R. Ginting, A. Ishak, A. Fauzi Malik, and M. R. Satrio, “Product Development with Quality Function Deployment (QFD) : A Literature Review,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1003, no. 1, p. 012022, 2020, doi: 10.1088/1757-899x/1003/1/012022.
[7] H. Moeeni, M. Javadi, and S. Raissi, “Design for manufacturing (DFM): a sustainable approach to drive the design process from suitability to low cost,” *Int. J. Interact. Des. Manuf.*, vol. 16, no. 3, pp. 1079–1088, 2022.
[8] I. M. L. Batan, “Desain produk,” *Surabaya Inti Karya Guna*, 2012.
[9] A. A. Arifin, K. B. Indarmawan, and D. A. Patriawan, “PERANCANGAN DAN PENGEMBANGAN

PRODUK CNC MINI 2 AXIS DENGAN METODE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)," *Elem. J. Tek. MESIN*, vol. 9, no. 2, pp. 90–98, 2022.

[10] G. Boothroyd, P. Dewhurst, and W. A. Knight, *Product Design for Manufacture and Assembly*. 2010.

[11] M. S. A. E. Putra, A. A. Arifin, and D. A. Patriawan, "Evaluasi Rancangan Mesin Lathe Mini Dengan Metode Design For Manufacture and Assembly (DFMA)," 2022.