

PERANCANGAN MESIN CNC ROUTER 3 AXIS BERBASISKAN METODE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)

Indra Dwi Febryanto¹⁾, Salsabila Dwi Kartikasari²⁾

^{1, 2)}Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya
Jl. Dukuh Menanggal No. 12 Dukuh Menanggal, Gayungan, Surabaya, 60234
e-mail: indra@unipasby.ac.id¹⁾, salsabilakartikasari@gmail.com²⁾

ABSTRAK

Konsep yang paling dasar dalam sistem produksi adalah Manusia atau tenaga kerja, Mesin, Metode, Modal atau Uang, Oleh karena itu perkembangan factor-faktor tersebut semakin pesat dari masa ke masa. Faktor mesin menjadi salah satu perhatian khusus dalam proses produksi karena diharapkan dengan mesin yang semakin modern tentu dapat menambah output dalam jumlah banyak agar permintaan konsumen selalu terpenuhi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter desain keinginan customer pada mesin CNC Router 3 Axis dengan melakukan pengkajian untuk meningkatkan kepuasan pelanggan. Hal ini dikarenakan masih adanya klaim dari customer terkait kualitas. Maka pada penelitian ini melakukan analisa kepuasan konsumen dengan menggunakan metode Quality Function Deployment (QFD) guna merancang desain yang sesuai keinginan customer. Hasil kajian tersebut dapat digunakan sebagai bahan untuk melakukan improvement pada material specification, component specification dan work instructions process. Hasil dari kajian ini telah ditemukan hal-hal yang harus diprioritaskan berdasarkan House of Quality. Beberapa prioritas diantaranya yaitu harus melakukan perbaikan pada material specification, component specification dan work instructions process.

Kata Kunci: *quality function deployment, kualitas.*

ABSTRACT

The most basic concepts in the production system are Humans or labor, Machines, Methods, Capital or Money, Therefore the development of these factors is growing rapidly from time to time. The machine factor is one of the special concerns in the production process because it is expected with machines The more modern, of course, can increase the output in large quantities so that consumer demand is always met. The focus of this research is to determine the design parameters of customer desires on the CNC Router 3 Axis machine by conducting an assessment to increase customer satisfaction. This is because there are still claims from customers regarding quality. So in this study, we analyze customer satisfaction using the Quality Function Deployment (QFD) method in order to design a design that suits the customer's wishes. The results of the study can be used as material to make improvements to the material specification, component specification and work instructions process. The results of this study have found things that must be prioritized based on the House of Quality. Some of the priorities include making improvements to the material specification, component specification and work instructions process

Keywords: *: quality function deployment, quality.*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan Revolusi Industri yang terus berkembang dari waktu ke waktu membuat para pelaku industri dituntut agar selalu melakukan perbaikan dan perubahan dalam segala aspek yang dimiliki. Perubahan dan perbaikan yang dilakukan bertujuan untuk dapat mengimplementasikan konsep, model dan teknologi yang terkini dalam pemenuhan kebutuhan konsumen.

Konsep yang paling dasar dalam sistem produksi adalah Manusia, Mesin, Metode, Modal, Material atau bahan baku. Konsumen selalu menuntut agar barang yang sudah dipesan dapat sampai tepat waktu dan berkualitas. Salah satu faktor yang dapat berperan untuk menjamin barang sampai ke konsumen adalah mesin. Dewasa ini mesin tidak hanya dituntut untuk semakin modern tetapi juga spesifikasi yang ada dapat sesuai dengan selera konsumen. Oleh karena itu jawaban dari perkembangan teknologi dalam mesin yang sesuai dengan perkembangan zaman atau selera konsumen adalah mesin *Computer Numerically Control (CNC)*.

CNC (*Computer Numerically Control*) adalah mesin perkakas dengan sistem otomatisasi yang dapat dioperasikan oleh Bahasa computer dengan menggunakan kode angka dan huruf dan dapat disimpan dalam ruang penyimpanan. Hal ini berbeda dengan mesin perkakas sebelumnya dimana hanya menggunakan putaran sederhana.

Mesin Numerically Control pertama kali diciptakan tahun 40-an sampai dengan 50-an dengan memodifikasi mesin perkakas biasa ditambah motor agar dapat bergerak mekanis mengikuti titik-titik yang diproses ke dalam sistem. Pada waktu yang tidak lama dirubah dengan menggunakan sistem analog dan computer digital.

Pada tahun 1952 John Pearseon mengembangkan mesin *Computer Numerically Control (CNC)* untuk Angkatan Udara Amerika Serikat. Hal ini disebabkan karena mesin CNC memiliki volume unit pengendali yang besar, perkembangan teknologi semikonduktor atau mikroprosesor dan memerlukan biaya yang tinggi sehingga akhirnya terintegrasi dengan komputer.

Permasalahan yang sering terjadi pada industri akhir ini adalah masih adanya keluhan tidak puas dari konsumen mengenai kualitas dan spesifikasi dari produk maka perusahaan dituntut untuk dapat menghilangkan cacat atau waste dengan efektif dan efisien. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah membuat perancangan mesin CNC Router 3 Axis dengan pendekatan metode *quality function deployment (QFD)* agar esuai dengan kebutuhan dan harapan konsumen. Dengan demikian salah satu langkah untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah melakukan suatu perancangan mesin CNC (*Computer Numerically Control*) Router 3 Axis dengan menggunakan metode *Quality Function Deployment (QFD)*. Penelitian pengembangan mesin sejenis telah banyak dilakukan sebelumnya. Diantaranya Riawan et al. (2017) yang merancang mesin CNC router kayu, Kurniawan et al. (2020) yang merancang CNC Lathe 2 axis, Hatefi et al. (2017) yang mendesain CNC 3 axis, Lui et al. (2020) yang mendesain mesin CNC 5 axis, Wibowo dan Supriyanti (2021) dengan rancang bangun CNC router kayu mininya dan masih banyak lagi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Nugroho et al (2019) merancang dan membuat Prototipe Mesin CNC Berbasis Arduino Uno untuk keperluan pembuatan desain atau pola kerajinan papercut yang dapat bekerja secara otomatis, baik untuk produksi massal maupun produksi job order. Metode deskriptif dipilih untuk menyelesaikan masalah penelitian dengan menggunakan dua stepper motor sebagai penggerak sumbu X dan sumbu Y sedangkan motor DC sejajar kemudian posisi langkah motor yang digunakan adalah metode deskriptif. Kesimpulan yang didapat adalah mesin dirancang menggunakan dua stepper motor sebagai penggerak pada sumbu X dan sumbu Y, dan motor DC sejajar dengan posisi X, Y yang digunakan untuk mencetak, data yang telah dikirim ke mikrokontroler sebagai pusat kendali mesin.

Pada tahun 2020, Nugroho et al merancang teknologi CNC dengan platform open source dan komunikasi serial agar lebih fleksibel dalam pengoperasian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan Mach3 dapat menyelesaikan 8 obyek dengan 14,5% dan akurasi kesalahan 0,05% dibandingkan dengan Arduino dengan 14,5% dan akurasi kesalahan 0,1%.

Penelitian lain tentang mesin CNC dilakukan Hasibuan et al (2019) merancang alat CNC sederhana untuk menggambar suatu pola pada jalur PCB secara otomatis. Desain Digambar melalui PC kemudian dikonversi dalam bentuk G-code. Mesin CNC diharapkan dapat menunjang kegiatan produksi dengan tingkat kerumitan yang tinggi dan dapat meminimalkan peran operator selama produksi.

Mulkan et al (2020) merancang alat mekatronika model V dengan dimensi 30cm x 50cm x 15cm. Bagian penyusun alat adalah Arduino Uno, 4 buah motor stepper, driver motor IC A4988, Bahasa pemrograman C, software Computer Aided Design (CAD), dan software kendali CNCjs. Hasil akhir yang didapatkan adalah mesin gambar otomatis berbasis Arduino uno dengan spesifikasi tahan terhadap beban 1 kg, ketelitian 0,1 mm, dan kecepatan gambar 0,75 cm/s.

Penelitian terapan lain tentang mesin CNC oleh Salam et al (2019) berupa desain dan gambar untuk laboratorium berdimensi 60 cm x 60 cm. Hasil penelitian yang didapat adalah akurasi dan presisi dari tiga lintasan sumbu x, y, dan z sesuai dengan nilai toleransi yaitu 0,01 mm, dan 0,05 mm. Kesesuaian program dan hasil ukiran pada benda kerja tidak menunjukkan penyimpangan yang berarti masing-masing 0,1 mm untuk sumbu X dan sumbu Y sedangkan sumbu Z 0,3 mm.

Setiawan et al (2020) melakukan modifikasi CNC router dengan Ballscrew dan motor stepper yang mempunyai daya 0,9748 watt, kecepatan motor spindle 15000 rpm, diameter maksimal 6 mm, torsi 6,912 Nm. Hasil yang didapatkan Panjang gerak CNC Router pada sumbu X 286 mm, sumbu Y 426 mm, dan sumbu Z 31 mm.

Sobirin dan Utama (2020) merancang CNC memanfaatkan USB dengan dua fungsi dalam satu sistem serta dapat dioperasikan menjadi satu interface. Cara kerja mesin CNC ini adalah program LabVIEW akan mengkonversi gambar menjadi G-code untuk melakukan proses plotter atau laser engraving. Hasil percobaan yang didapatkan dapat melakukan proses gravir pada kayu dan ketebalan gavis dapat diatur sesuai kebutuhan.

Mesin CNC Router rancangan Sudarno et al (2016) menggunakan software Grbl Controller untuk mesin ATmega 328 untuk mikrikontroller. Hasil rancangan mesin CNC ini dapat digunakan untuk pengujian benda kerja 2D dan media pembelajaran.

Artikel yang ditulis Azmi et al (2020) merancang alat CNC dengan cara kerja desain dari personal komputer yang telah ada dikonversi dalam bentuk G-Code kemudian dikirim ke mikrokontroler. Mikrokontroler membaca data yang telah ditransfer berupa perintah untuk laser dan motor stepper sebagai penggerak.

Zulfikar dan Syafri menulis dalam jurnal nasional tahun 2017 tentang membuat komponen mekanik mesin CNC dan merakitnya untuk menghasilkan mesin dengan harga termurah Sehingga harga jual mesin dapat dijangkau oleh pelaku industri kecil. Dalam penelitian ini, semua mekanik komponen dibuat menggunakan proses pemesinan dan dirakit, yang menggunakan komponen jadi yang sudah bisa ditemukan di pasaran. Proses pemesinan meliputi penggilingan, pengeboran, penggilingan, penggergajian dan penyadapan.

Nugroho dan Pratomo (2020) merancang mesin CNC dengan ukuran lebih kecil, mudah dioperasikan dan fleksibel (X, Y, dan Z) mengimplementasikan mesin Computer Numerical Control (CNC) yang murah, dengan ukuran yang lebih kecil, mudah dioperasikan, dan fleksibel dengan tiga sumbu X, Y dan Z. Mesin CNC shield terdapat 3 motor stepper untuk mengontrol Gerakan kertas di sumbu X dan sumbu Y, ditambah lagi 1 motor stepper untuk menggerakkan spindel pada sumbu Z. Arduino Uno yang diprogram

dengan Bahasa G-Code dengan bantuan software bCNC digunakan untuk mengontrol pergerakan dan sinkronisasi motor.

Jufrizalady et al (2020) mengembangkan mesin CNC dengan menggunakan program G-Code dan GBRL controller sebagai pengontrol. Cara kerja mesin dengan menggunakan 3 stepper motor yang berfungsi menggerakkan sumbu X, Y, dan Z ditambah spindle sebagai pengendali mata bor untuk mengukir layput pada PCB. Syahriza et al (2015) mengembangkan mesin CNC dengan 4 axis (X, Y, Z, dan A). Cara kerja axis A berputar axis X menggunakan chuck TU-2A sedangkan axis X, Y, dan Z bergerak linier menggunakan motor stepper. Keunggulan lain adalah walaupun rancang bangun mesin sangat kompleks tetapi dapat dibeli dengan harga terjangkau.

Azizah et al (2018) meneliti tentang mesin CNC menggunakan pendekatan metode Quality Function Deployment (QFD). Hasil penelitian digunakan untuk peningkatan kapasitas mesin, spesifikasi material, sistem penyimpanan dan instruksi proses kerja.

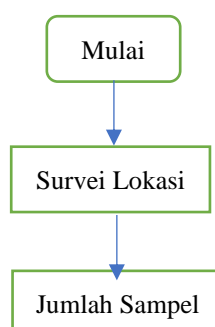
Widodo et al. (2019) merancang mesin gerinda-rollpress berdasarkan kuesioner. Dari hasil parameter kuesioner adalah: mesin pengolah singkong, harga relatif murah, suku cadang yang mudah didapat, keausan mesin penggerak motor listrik, proses penggunaan yang mudah. Dari semua parameter ini berdasarkan hasil pengujian menggunakan software SPSS17.0 nilai signifikansi pemilihan mover tertinggi, dengan nilai korelasi item-total terkoreksi adalah 0,610. Dimensi Antropometri yang digunakan tinggi pinggul (height meja rollpress ke lantai) panjang 98,8 cm, rentang lengan depan (jarak operator saat melakukan penggilingan proses) adalah 77,6 cm dan rentang tangan ke samping (jarak operator untuk mencapai meja kerja kedua) yaitu 176,1 cm.

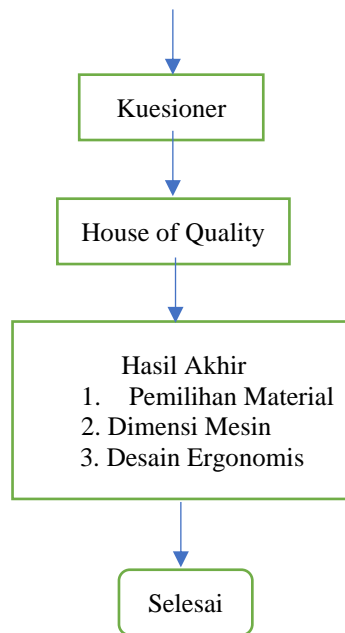
Purba et al (2020) merancang desain produk baru yang tepat berdasarkan kebutuhan pelanggan dan meningkatkan daya saing berdasarkan pembaharuan strategi pemasaran dan kebutuhan pelanggan di dalam mobil industri kursi. Peringkat kepuasan pelanggan adalah digunakan untuk membandingkan dengan pesaing. Kemudian, QFD diimplementasikan untuk analisis. Berdasarkan perhitungan menggunakan QFD menunjukkan bahwa opsi kursi memiliki yang tertinggi persentase persyaratan teknis di kursi mobil industri sekitar 27,39%. Faktor kedua adalah materi sekitar 25,94%, dan faktor ketiga adalah redaman karakteristik sekitar 19,17%.

Ginting et al. (2017) melakukan redesain tempat tisu dengan pendekatan metode Quality Function Deployment (QFD). Karakteristik produk ini memiliki fungsi baik utama, main polkadot motif fungsi, ornament stiker, fungsi tambahan tempat permen, motif strip fungsional, dan tambahan bahan fungsional besi.

III. METODE PENELITIAN

Perancangan mesin *CNC Router 3 Axis* melalui pendekatan metode QFD (Quality Function Deployment) untuk mengetahui parameter-parameter yang dibutuhkan oleh konsumen. Langkah-langkah yang digunakan dalam perancangan mesin *CNC Router 3 Axis* dapat dilihat dalam flowchart berikut:





Gambar. 1. Diagram perancangan

IV. HASIL

A. Menyebarkan Kuesioner

Pada penelitian ini proses menyebarkan kuesioner dilakukan secara online yaitu dengan membagikan link *google form* kepada para customer. Responden didapatkan dari kalangan masyarakat yang memiliki bengkel bubut dan kalangan masyarakat lainnya dimana jumlah total kurang dari 30 orang sehingga total penyebaran kuesioner hanya mendapatkan 26 responden

TABEL. I
DATA KUESIONER DEMOGRAFI

No	Pertanyaan	Jawaban	Jawaban responden
1	Jenis kelamin	Laki-laki	22
		Perempuan	4
2	Usia pekerja	17-25th	24
		26-35th	2
		36-45th	0
3	Status Perkawinan	Lajang	25
		Menikah	1
		Duda	0
		Janda	0
4	Jumlah tanggungan dalam keluarga	1 orang	9

		2 orang	6
		3 orang	5
		4 orang	5
		DLL	1
		Mandiri	15
		Bekerja	16
5	Golongan usaha yang dilakukan	DLL	0
		1th	12
		2th	5
6	Lama bekerja	3th	8
		4th	1
		DLL	0

Sumber: Pengolahan Data

B. Analisis Quality Function Deployment (QFD)

Parameter-parameter yang akan digunakan untuk perancangan mesin *CNC Router 3 Axis* ditentukan berdasarkan nilai tertinggi sampai terendah. Langkah awal yang dilakukan dengan membuat kuesioner (*Voice of Customer*), menghitung obyektif produk dengan mencari nilai *Important Rate; Relative Important Index; Weight; % weight*, menentukan respon teknis untuk masing-masing atribut (prioritas), menghitung matrik interaksi, membuat *House of Quality*, membuat tabel prioritas respon Teknik (pemilihan dan perancangan), dari hasil ranking didapatkan bahwa pemilihan material dan komponen pendukung menjadi prioritas utama, hasil ranking dapat dilihat pada table II berikut ini:

TABEL. II
RANKING PENGOLAHAN QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

Ranking	Prioritas	Pemilihan dan perancangan
1	Pemilihan material dan komponen pendukung mesin <i>CNC Router 3 Axis</i>	Plat besi Pemilihan Multiplek untuk meja Hollow stainless Pemilihan bearing Pemilihan timing belt Pemilihan Timing pulley Pemilihan Idler pulley Pemilihan motor stepper Pemilihan mesin router trimmer Pemilihan motor spindle Pemilihan Ball screw Pemilihan power supply Pemilihan motor driver Pemilihan <i>Mach 3 CNC Module USB</i>
2	Dimensi Alat	meja tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu pendek
3	Desain yang Ergonomis	jarak operator dapat menjangkau meja dan mesin Hasil benda kerja yang presisi Dapat dioperasikan oleh 1 orang

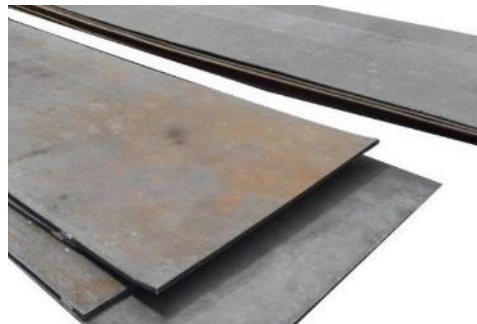
Sumber: Pengolahan Data

C. Pemilihan Material dan Komponen Pendukung

Dalam menentukan material dan komponen meliputi beberapa pemilihan dan kriteria, diantaranya adalah pemilihan plat besi, multiplek untuk meja, *hollow stainles*, *bearing*, *timing belt*, *timing pulley*, *motor stepper*, mesin *router trimmer*, *motor spindle*, pemilihan ball screw, power supply, *motor driver*, dan *Mach 3 CNC Module USB*.

D. Pemilihan Plat Besi

Komponen seperti alas meja, Plat support, lengan, plat sumbu Y, rumah sumbu X, plat Bracket dan frame terbuat dari besi.



Gambar. 2. Plat besi

E. Pemilihan Multiplek

Multiplek adalah salah satu bahan yang sering digunakan untuk pembuatan furniture di bidangkontruksibangunan, bahan ini banyak digunkana untuk elemen interior ataupun eksterior. Multiplek ini digunkana sebagai alas untuk kerangka mesin *CNC Router 3 Axis*.



Gambar. 3. Multiplek

F. Pemilihan Hollow Stainles

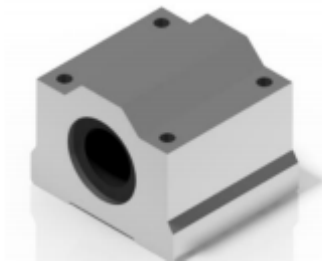
Hollow Stanlies merupakan besi yang memiliki bentuk berongga yang dapat digunakan untuk berbagai jenis rangka kontruksi.



Gambar. 4. Hollow stainless

G. Pemilihan Bearing

Pemilihan Bearing yang digunakan adalah Bearing SBR. Bearing SBR berfungsi sebagai elemen luncur yang terdiri dari bantalan-bantalan bola yang menggelinding agar pergerakan lebih mudah, mengurangi gesekan, dan umur mesin lebih awet.



Gambar. 5. Bearing SBR

H. Pemilihan Timing Belt

Pemilihan *Timing belt* berfungsi sebagai transmisi penghubung antara bahan baku karet dan penampang trapesium. Penggunaan *Timing belt* dibelitkan mengelilingi alur puli sehingga bagian sabuk melengkung. Efek lain yang ditimbulkan adalah lebar bagian dalam akan bertambah besar



Gambar. 6. Timing belt

I. Pemilihan Timing Pulley

Timing pulley merupakan salah satu bagian dari sistem kerja baik yang terdapat pada mesin industri atau mesin kendaraan bermotor. *Timing pulley* dapat berfungsi sebagai sabuk untuk menjalankan alur yang menghantarkan daya.



Gambar.7. Timming pulley

J. Pemilihan Idler Pulley

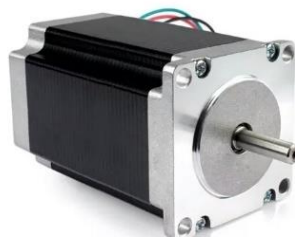
Idler Pulley adalah suatu katrol yang berfungsi untuk menjaga *timing belt* agar jalur tidak bergeser.



Gambar.8. Idler pulley

K. Pemilihan Motor Stepper

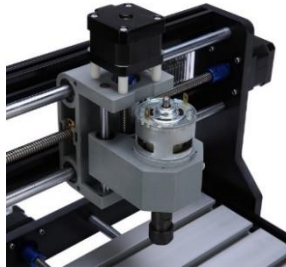
Motor stepper dapat diartikan sebagai alat elektromekanis yang mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor stepper jenis nema 17 dan nema 23 dalam penelitian ini digunakan sebagai penggerak head baca atau tulis yang akan menentukan posisi head atau baca diatas permukaan piringan disket dan penggerak head pada printer serta linefeed control. Bentuk dari motor stepper dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar. 9. Motor stepper

L. Pemilihan Mesin Router Trimer

Mesin *Router trimer* berfungsi sebagai pembentuk lis dan joinery. Cara kerja *Router trimer* sebagai pengupas atau pengikis permukaan kayu sesuai dengan bentuk dan ukuran mata profilnya.



Gambar. 10. Mesin router trimer

M. Pemilihan Motor Spindel

Motor spindle merupakan bagian dari rumah cutter. Spindle berfungsi untuk mengatur putaran dan pergerakan cutter pada sumbu Z sehingga motor bergerak dengan sistem transmisi belting atau kopling.



Gambar. 11. Motor spindle

N. Pemilihan Ball Screw

Fungsi dari ball screw adalah menggerakkan komponen lain secara linier pada sumbu Z.



Gambar. 12. Ball screw

O. Pemilihan Power Supply

Power supply dapat diartikan sebagai perangkat penyedia utama daya tegangan DC untuk CNC, motor stepper, tool atau spindle. Daya yang dihasilkan diusahakan tetap konstan agar dapat memberikan supply yang optimal bagi motor dan spindle.



Gambar.13. Power supply

P. Pemilihan Motor Driver

Motor driver diartikan sebagai sebuah komponen yang berfungsi untuk memperkuat sinyal keluaran dan mengkomunikasikan controller dengan dengan aktuator agar terbaca dengan baik.



Gambar. 14. Motor driver

Q. Pemilihan Mach CNC Module USB

Mach CNC Module USB adalah sebuah perangkat keras untuk mengontrol mesin CNC dengan cara mengelola data G-Code dari komputer dan memberikan sistem proteksi. Sedangkan Match3 bekerja dengan komunikasi paralel untuk memastikan kecepatan data yang dikirim dan diterima benar secara real time.



Gambar. 15. Mach3 USB

R. Desain Yang Ergonomis

Desain yang ergonomis meliputi beberapa pemilihan kriteria, misalnya adalah hasil benda kerja yang presisi, dapat dioperasikan oleh 1 orang dan meja mesin dapat dipindah-pindah.

S. Hasil Benda Kerja yang Presisi

Perencanaan mesin *CNC Router 3 Axis* dapat menghasilkan benda kerja yang presisi dan tidak cacat ataupun gagal, sehingga dapat mencegah pemborosan material.

T. Dapat Dioperasikan Oleh Satu Orang

Pengoperasian mesin *CNC Router 3 Axis* ini direncanakan dapat dioperasikan oleh 1 orang saja, dengan kata lain dapat dilakukan penghematan jumlah pekerja.

U. Meja dan Mesin Dapat Dipindah-pindah

Tujuan perencanaan meja dan mesin *CNC Router 3 Axis* adalah agar memudahkan saat mesin dipindah-pindahkan ketika mesin sedang membutuhkan perawatan maupun perbaikan.

V. KESIMPULAN

Perancangan mesin *Computer Numerically Control (CNC) Router 3 axis* dengan menggunakan metode *Quality Function Deployment (QFD)* ada 2 faktor utama yang dijadikan prioritas dalam merancang mesin CNC yaitu pemilihan material dan komponen dimana 2 faktor tersebut merupakan hasil kuesioner yang ditujukan untuk konsumen selain itu mesin dapat dioperasikan dengan mudah dengan harga yang relatif terjangkau sehingga kepuasan konsumen dapat meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, I. N., Lestari, R. N., & Purba, H. H. (2018). Penerapan metode Quality Function Deployment dalam memenuhi kepuasan konsumen pada industri komponen otomotif. *Jurnal Teknik Industri*, 19(2), 127-136.
- Ginting, R., Batubara, T. Y., & Widodo, W. (2017). Desain Ulang Produk Tempat Tissue Multifungsi Dengan Menggunakan Metode Quality Function Deployment. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 19(2), 1-9.
- Hatefi, S., Ghahraei, O., & Bahraminejad, B. (2017). Design and development of a novel multi-axis automatic controller for improving accuracy in CNC applications. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, 11(1), 19.
- Hasibuan, M. R. A., Muhaimin, M., & Suprihardi, S. (2019). Rancang Bangun Mesin Cnc Milling 3-Axis Untuk Anggrave Pcb Berbasis Arduino Uno. *Jurnal TEKTR0*, 3(1).
- Jufrizaldy, M., Ilyas, I., & Marzuki, M. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Milling Menggunakan System Kontrol Grbl Untuk Pembuatan Layout PCB. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(1), 37-44.
- Karuniawan, B. W., & Hamzah, F. (2017). Rancang bangun CNC router kayu dengan menggunakan Control Mach 3. *In Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and Its Application* (Vol. 1, No. 1, pp. 197-204).
- Kurniawan, E., Syaifurrahman, S., & Jekky, B. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 4(2), 83-90.
- Mulkan, Y., Hakimah, H. F., Lazuardi, M. R., Vega, R., Basjaruddin, N. C., & Rakhman, E. (2020, September). Mesin Gambar Otomatis Berbasis Mikrokontroler. *In Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar* (Vol. 11, No. 1, pp. 293-299).
- Nugroho, A. B., & Alrasyid, M. Z. (2020). Analisa Perbandingan Performansi Akurasi Mesin CNC (Computer Numerical Control) Router Berbasis Mach3 dan Arduino Uno Menggunakan Metode SQC (Statistical Quality Control). *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, 2(2), 75-86.
- Nugroho, E. C., Nugroho, A., Hendriyanto, I. (2019). "Prototipe Mesin CNC 2D Berbasis Arduino Uno", *Jurnal Ilmiah STMIK AUB*, Vol.25, No.1, Hal.43-52.
- Nugroho, A. A., & Pratomo, L. H. (2020). Mesin CNC berbasis Arduino Uno R3 dengan hardware dan simulasi secara real-time pada desain 2D. *In Seminar Nasional Teknik Elektro* (Vol. 5, No. 1, pp. 41-46).
- Widodo, D. S., Sembodo, A., Mukmin, M. G., & Dozeno, J. (2019, October). Rancang Bangun Mesin CNC 3-Axis Berbasis Mikrokontroler Arduino. *In Seminar Nasional Teknik Mesin 2021* (Vol. 9, No. 1, pp. 300-308).
- Purba, H. H., Sunadi, S., Suhendra, S., & Paulina, E. (2020). The Application of Quality Function Deployment in Car Seat Industry. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 11(1), 35-42.
- Riawan, M. A., Salam, A., Iswar, M., Rifaldi, M., Malik, S., & Putra, K. (2019, December). Rancang Bangun Mesin CNC Router Mini Untuk Pembelajaran Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin. *In Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (pp. 84-90).
- Setiawan, B., Rasma, R., & Djunaedi, T. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Router Portable Dengan Dimensi 1219× 609 Mm Untuk Skala Laboratorium. *INFOMATEK: Jurnal Informatika, Manajemen dan Teknologi*, 22(1), 15-22.
- Sobirin, D. M., & Utama, J. (2020). Perancangan Sistem Multi Computer Numerical Control (CNC) Untuk Plotter Dan Laser Engraving. *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, 9(1), 51-58.
- Liu, J., Huang, L., Wang, Y., Wang, Y., & Shi, J. (2020). Developing continuous machining strategy for cost-effective five-axis CNC milling systems with a four-axis controller. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(5), 474-490.
- Azmi, F., Wanggara, A., Andree, A., Moris, M., & Simatupang, P. G. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Engraving 3 Axis Berbasis Arduino Uno Dengan GRBL Software. *Journal Of Electrical And System Control Engineering*, 4(1), 11-17.
- Wibowo, L. A., & Supriyati, H. (2021, December). Perancangan Mesin CNC Router Kayu Mini. *In SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan)* (Vol. 3, pp. 242-247).
- Zulfikar, Z., dan Syafri, (2017), "Proses Produksi Prototipe Mesin CNC Router 3 Axis", *Jom FTEKNIK*, Vol.4, No.2, Hal.1-6.