MACHINERY JURNAL TEKNOLOGI TERAPAN
VOL.4 NO.2, JUNI 2023

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

PENERAPAN METODE *DESIGN FOR MANUFACTURING* PADA RANCANG BANGUN CNC *MILLING* 3 SUMBU

Abdurrahman[1)]*, Irawan Malik[2)], Ahmad Zamheri[2)]
[1)] Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya
[2)]Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jln. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139
*email korespondensi: amanyahya52@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Received:
16/02/2023

Accepted:
02/06/2023

Online-Published:
17/06/2023

© 2023 The Authors. Published by Machinery: Jurnal Teknologi Terapan (Indexed in SINTA)

doi:
doi.org/10.5281/zenodo.8049149

ABSTRAK

Penggunaan mesin CNC *Milling* 3 Sumbu belakangan ini banyak diperlukan para pelaku usaha di industri kreatif. Namun, para pengusaha terkadang menghadapi kendala pada biaya mesin CNC *Milling* yang cukup mahal. Penelitian ini fokus melakukan pengembangan terhadap desain mesin CNC *Milling* 3 Sumbu yang umum beredar dipasaran, yakni CNC Milling 3 Sumbu 2418. Peneliti melakukan pengembangan desain dengan metode Design For Manufacturing guna meminimasi biaya namun tetap dengan kualitas yang baik. Program CAD-CAE yaitu *Solidworks* 2021 digunakan untuk mendesain dan menganalisis tegangan *Von Misses* dan faktor keamanan. Hasil implementasi metode DFM menghasilkan desain CNC *Milling* 3 Sumbu dengan minimasi biaya sebesar 11,9% dan nilai *Factor of Safety* lebih dari 1.

Kata Kunci *:* CNC *Milling* 3 Sumbu*, Design for Manufacturing,* Minimasi Biaya, Rancang Bangun*.*

ABSTRACT

The use of 3 Axis CNC Milling machines lately is needed by many business actors in the creative industry. However, entrepreneurs sometimes face problems with the cost of CNC Milling machines which are quite expensive. This research focuses on developing the design of 3 Axis CNC Milling machines which are commonly circulating in the market, namely 3 Axis CNC Milling 2418. Researchers develop designs using the Design For Manufacturing method in order to minimize costs but still with good quality. The CAD-CAE program, Solidworks 2021, was used to design and analyze Von Misses stresses and safety factors. The results of the implementation of the DFM method resulted in a 3 Axis CNC Milling design with a minimum cost of 11.9% and a Factor of Safety value of more than 1.

Keywords : CNC *Milling* 3 Axis*, Design for Manufacturing, Cost Minimization, Design.*

1 PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi berbasis komputer pada alat telah menghasilkan mesin perkakas yang bisa menangani banyak pekerjaan yang kompleks dalam waktu pekerjaan yang singkat. Salah satu alat mesin yang paling canggih adalah penggilingan CNC. Namun, di sisi lain, pesatnya perkembangan teknologi juga menyebabkan perubahan yang cepat dalam dunia bisnis. Untuk dapat mengikuti arus persaingan, perusahaan dituntut untuk terus berinovasi dan menciptakan produk yang berkualitas. Hal ini menyebabkan industri manufaktur terpaksa menghasilkan produk yang dapat memenuhi kebutuhan pelanggan dengan harapan yang sangat tinggi terhadap fungsi produk, namun dengan biaya yang lebih rendah. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk proses evaluasi suatu desain adalah *metode Design for Manufacturing* (DFM). DFM merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi desain produk dengan mempertimbangkan kemudahan proses pembuatannya.

Boothroyd, dkk. (2015), dalam penelitian mengenai *Design for Manufacture* (DFM), DFM merupakan pendekatan untuk mengestimasi biaya manufaktur pada proses awal desain. Beragamnya pilihan teknologi proses untuk memanufaktur sebuah komponen serta jenis bahan material yang bermacam-macam membuat para *designer* tidak memungkinkan untuk mengetahui seluruh informasi. Untuk itu DFM membantu mengestimasi biaya lebih awal untuk dapat memutuskan alternatif proses serta material yang tepat tanpa

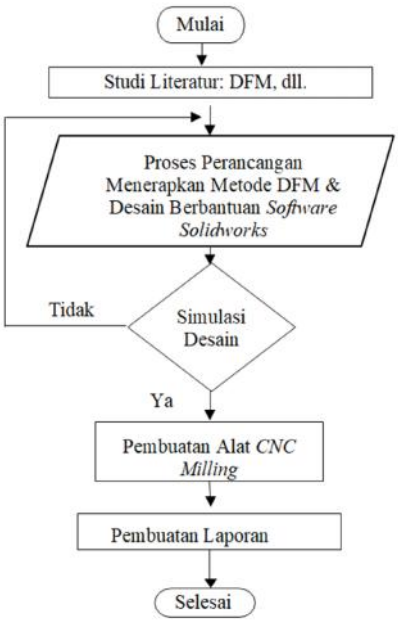
ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

harus mempraktikkan secara langsung. Beberapa sumber yang peneliti gunakan untuk mempelajari penggunaan metode DFM dalam merancang bangun CNC *Milling* 3 Sumbu sebagai berikut. Irawan, dkk. (2021), telah berhasil mengaplikasikan DFM dalam menentukan keputusan desain rangka mesin potong plasma. Desain rangka mesin yang dipilih adalah besi *hollow* 40x40x2 mm yang memiliki tegangan *Von Misses* maksimal 3,69.10^8 N/m^2 dan nilai FOS minimal 6,72.

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk mendesain, meminimasi biaya, dan menganalisis kekuatan rangka yang telah dilakukan perubahan desain pada pembuatan mesin *milling* 3 sumbu (*custom made)* berdasarkan metode DFM dengan menerapkan prinsip-prinsip desain dan analisis CAD-CAE dari program *Solidworks* 2021 dalam hal mengganti komponen, penggunaan material dan metode yang akan memudahkan manufaktur pada penggunaan industri kreatif skala kecil dan meminimasi biaya akhir pembuatan mesin.

2. METODE DAN BAHAN

Diagram alir penelitian seperti Gambar 1



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Bahan

Untuk melakukan penelitian ini diperlukan bahan penelitian. Dibawah ini terdapat perbandingan antara Tabel 2 dan 3 mengenai biaya.

Tabel 1 Daftar komponen Desain Awal

No	Komponen	Ukuran (mm)	Material	Qty	Biaya (Rupiah)
1	*Cylinder Linear Shaft (all axis)*	Ø10 x 700	*Stainless steel*	1	110.500
2	*Lead Screw Z-Axis*	*Nut* Ø8 x 100	*Stainless steel*	1	27.500
3	*Lead Screw X-Axis*	*Nut* Ø8 x 400	*Stainless steel*	1	64.000
4	*Lead Screw Y-Axis*	*Nut* Ø8 x 300	*Stainless steel*	1	43.500
5	*Pillow Block Bearing* (duduk)	Ø22 Hole Ø 8	3D *printing*	1	5.000
6	*Support linear shaft*	Ø10	Aluminium *alloy*	8	160.000
7	*Flexible Coupling*	Ø5 x 8	Aluminium *alloy*	3	27.000
8	*Alumunium Profile table*	300 x 180 x 18	Aluminium *profile* 1590	1	103.500

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

No	Komponen	Ukuran (mm)	Material	Qty	Biaya (Rupiah)
9	*Alumunium T slot*	330x 20 x 20	Aluminium profile 6063-T5	8	369.600
10	*Motor stepper*	1.5 A 0,4 Nm		3	150.000
11	*Bracket mount motor stepper*		Aluminium *alloy*	2	13.000
12	*T nut*	M5 M6	*Stainless steel*	43	10.535
13	Mur	M5 M6	*Stainless steel*	43	7.740
14	Baut L	M5 x 10	*Stainless steel*	43	23.607
15	*Nut slider*	M5	Aluminium *alloy*	10	20.000
16	*Corner Piece*		Aluminium *alloy*	12	21.600
17	*Linear Bearing*	*Hole* Ø10	*Stainless steel*	12	108.000
18	*Bearing*	Ø8	*Stainless steel*	1	1.500
19	*Bracket Spindle*		3D *printing*	1	60.000
20	*Carriage*		3D *printing*	1	95.000
21	*Chuck*	as 8 mm	*Stainless steel*	1	94.000
22	*Collet ER11*	5 mm	*Stainless steel*	1	34.000
23	*Spindle*	400W		1	500.000
24	*GRBL Controller*			1	370.000
25	*Power Supply*	24 v		1	212.000
26	*Bits*	4 mm	Aluminium HRC45	1	49.300

(Sumber: telah diolah)

Tabel 2 Daftar komponen Desain Baru

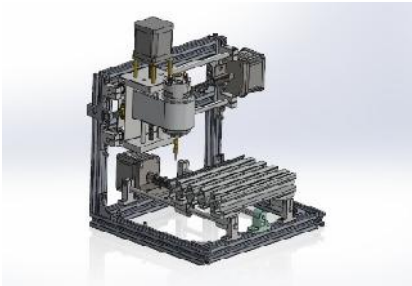
No	Komponen	Spesifikasi (mm)	Material	Qty	Biaya (Rupiah)
1	*Cylinder Linear Shaft (all axis)*	Ø10 x 700	*Stainless steel*	1	110.500
2	*Ball Screw Z-Axis*	*Nut* Ø8 x 100	*Stainless steel*	1	27.500
3	*Ball Screw X-Axis*	*Nut* Ø8 x 400	*Stainless steel*	1	64.000
4	*Ball Screw Y-Axis*	*Nut* Ø8 x 300	*Stainless steel*	1	43.500
5	*Pillow Block Bearing*	Ø22 Hole Ø 8	3D *printing*	1	5.000
6	*Bearing*	Ø8	*Stainless steel*	1	1.500
7	*Flexible Coupling*	Ø5 x 8	Aluminium *alloy*	3	27.000
8	*Alumunium Profile table*	300 x 180 x 18	Aluminium *profile* 1590	1	103.500
9	*Aluminium plate*	430 x 200 x 5	AL 6061	1	170.000
10	*Alumunium T slot*	330 x 20 x 20	AL 6063-T5	2	92.400
11	Akrilik	410 x 90 x 5		1	60.000
12	*Motor stepper*	1.5 A 0,4 Nm		3	150.000
13	*T nut*	M5 M6	*Stainless steel*	27	6.615
14	Mur	M5 M6	*Stainless steel*	10	8.000
15	Baut L	M5*10	*Stainless steel*	27	14.823
16	Baut L	M6*20	*Stainless steel*	10	10.000
17	*Nut slider*	M5	Aluminium *alloy*	10	20.000
18	*Linear Bearing*	*Hole* Ø10	*Stainless steel*	12	108.000
19	*Bracket Spindle*		3D *printing*	1	60.000
20	*Carriage*		3D *printing*	1	95.000
21	*Chuck*	as 8 mm	*Stainless steel*	1	94.000
22	*Collet ER11*	5 mm	*Stainless steel*	1	34.000
23	*Spindle*	400W		1	500.000
24	*GRBL Controller*			1	370.000
25	*Power Supply*	24 v		1	212.000
26	*Bits*	4 mm	Aluminium HRC45	1	49.300

(Sumber: telah diolah)

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

2.3 Langkah-Langkah DFM

Pada penelitian ini penulis memilih CNC *Milling* 2418 yang sudah beredar di pasaran sebagai acuan saat menerapkan metode DFM pada pengembangan desain rancang bangun mesin CNC *Milling* 3 sumbu (*custom made*).



Gambar 2. Desain CNC *Milling* 2418 (desain awal)

Selanjutnya peneliti melakukan penerapan metode DFM pada desain baru dengan data penelitian dari desain awal. Proses desain baru dengan langkah-langlah DFM sebagai berikut.

1. Langkah mendesain

   Langkah mendesain pada penelitian ini memakai *Software Solidworks* dalam proses perancangan desain, GRBL sebagai *Microcontroller*, dan dalam perancangan elemen kontrol *Motor Driver* yang akan digunakan adalah Nema untuk mesin *CNC Milling 3 Axis.* Pada proses awal, penulis terlebih dahulu merancang komponen yang dibutuhkan untuk mempermudah dalam pembuatan mesin CNC.

2. Memperkirakan dan mengurangi biaya manufatur

   Biaya manufaktur merupakan gabungan dari semua anggaran untuk input dari sistem manufaktur dan proses pembuatan hasil akhir yang dihasilkan oleh sistem. Upaya menghitung rancangan anggaran produksi adalah dengan memisahkan anggaran produksi menjadi anggaran tetap dan anggaran variabel. Anggaran tetap merupakan anggaran yang termasuk dalam jumlah yang telah ditentukan sebelumnya, terlepas dari berapa banyak unit produk yang dibuat. Sementara itu, anggaran variabel adalah anggaran yang diperhitungkan berbanding lurus dengan jumlah unit yang diproduksi. Cara untuk mengurangi anggaran komponen adalah dengan memahami kendala proses dan fundamental anggaran, mendesain ulang komponen untuk mengurangi langkah pemrosesan, memilih skala ekonomi, sesuai untuk pemrosesan suku cadang, menstandarkan komponen dan proses. Pada perancangan CNC 2418, penggunaan rangka profil aluminium membutuhkan penggunaan part sambungan yang lebih banyak sehingga dapat menambah biaya produksi. Berbeda dengan desain baru, penggunaan pelat aluminium akan mengurangi jumlah komponen dan berdampak pada pengurangan biaya.

3. Pemilihan material komponen

   Material komponen juga sangat berpengaruh dalam menentukan biaya produksi. Pemilihan material komponen tidak hanya mengacu pada harga yang murah, namun juga mementingkan kualitas material tersebut. Cara mengetahui material pada suatu komponen memiliki mutu yang lebih baik, peneliti menggunakan *software Solidworks* untuk menguji kualitas pada beberapa material. Pengujian dilakukan dengan melakukan simulasi pada fitur *simulation solidworks.* Material pembuatan rangka pada CNC milling ini adalah material Alumunium T slot 6063, alumunium plat 6061 dan akrilik. Alasan memilih material ini karena bahan alumunium adalah bahan yang ringan, tahan terhadap korosi, bagus secara visual, dan mudah untuk proses permesinan serta *assembly*, dan bahan akrilik dipilih karena harganya yang relatif murah, ringan, dan dapat menahan panas sehingga melindungi GRBL. Berdasarkan hasil rancangan, untuk pemilihan material yang digunakan dalam proses produksi didasarkan pada ketersediaan pasar yang tinggi. Dimensi material yang dipilih adalah ukuran 20 x 20 mm untuk T slot, ukuran 430 x 290 mm x 290 untuk plat alumunium.

4. Mengurangi biaya pendukung produksi

   Biaya pendukung produksi dikurangi dengan meminimalkan *task* yang rumit dan menghilangkan proses yang tidak memberi nilai tambah. Semua biaya akan dihitung, baik sebelum penerapan metode DFM maupun setelah penerapan metode DFM.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

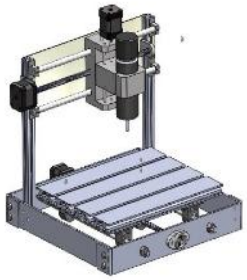
5. Mempertimbangkan pengaruh keputusan DFM pada faktor lainnya

   Meminimalkan biaya manufaktur bukan hanya tujuan dari proses pengembangan produk. Keberhasilan produk secara ekonomi juga bergantung pada kualitas produk, pengurangan waktu pengenalan dan biaya pengembangan produk. Selain itu, ada situasi di mana keberhasilan ekonomi suatu proyek dikompromikan untuk memaksimalkan keberhasilan ekonomi seluruh perusahaan. Dalam mempertimbangkan keputusan DFM, isu-isu ini harus dipertimbangkan secara eksplisit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum masuk ke tahap produksi, terlebih dahulu dilakukan uji kelayakan desain dengan melakukan simulasi pada *software solidworks*. Uji yang dilakukan yaitu mencari nilai *Von Misses Stress* dan *Factor Of Safety*.

3.1 Perencanaan Desain



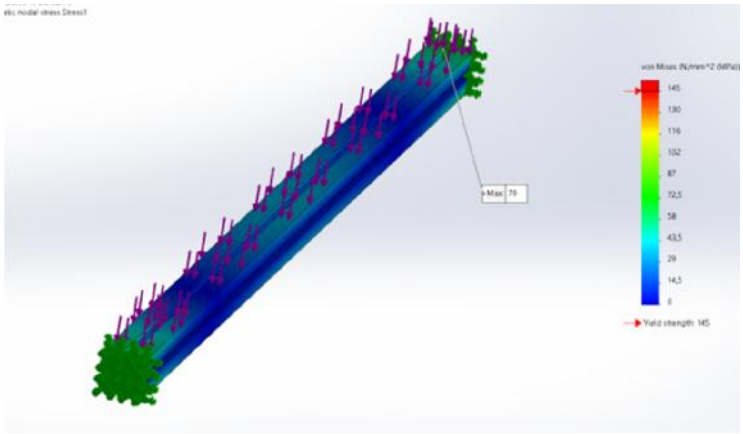
Gambar 3. Desain Baru

Perencanaan desain baru mesin CNC ini adalah menggunakan rangka yang terbuat dari pelat aluminium, *Alumunium Profile*. Spesifikasi desain baru CNC Milling 3 Sumbu sebagai berikut:

1. Jenis mesin : CNC 3 Axis
2. Rangka mesin : Alumunium + akrilik
3. Ukuran : 430 x 290 x 290 mm
4. *Spindle* motor : *DC 400 W max.* 12000 *rpm/min*.
5. *Stepper* Motor : Nema 17
6. *Microcontroller* : Arduino Uno
7. *Software Controller* : Grbl

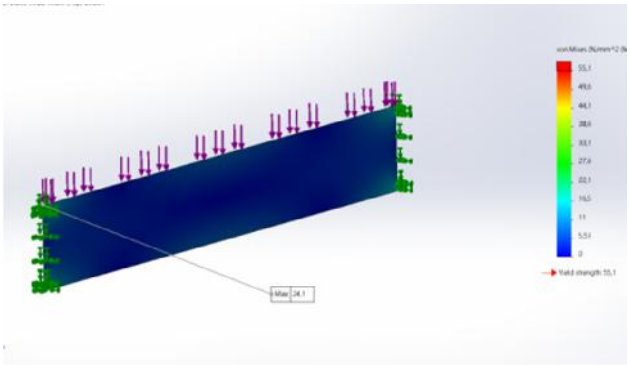
3.2 *Von Misses Stress* pada Komponen Rangka

Pada desain awal, *frame* utama yang digunakan adalah jenis Aluminium profil 6063-T5 dan desain baru menggunakan aluminium *plate* 6061. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 bisa dilihat hasil simulasi *Von Misses* antara plat aluminium dan aluminium *profile* sama-sama baik.



Gambar 4 *Von Misses Stress* Komponen Rangka Aluminium 6063-T5

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

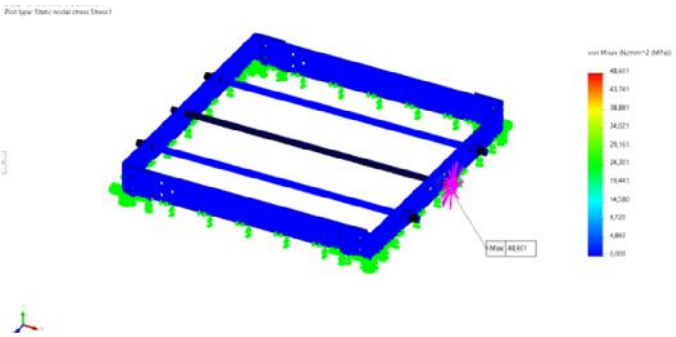


Gambar 5 *Von Misses Stress* Komponen Rangka Aluminium 6061 Alloy

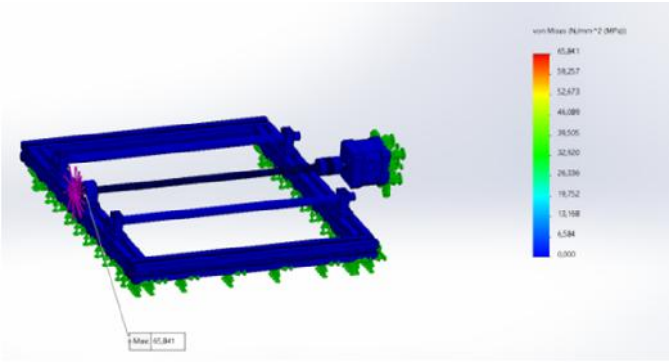
Untuk aluminium profile dengan *yield strength* sebesar 145 Mpa, jika diberi beban sebesar 1000 N akan mendapatkan tegangan maksimum *Von Misses* sebesar 79 Mpa. Pada plat aluminium, dengan *yield strength* sebesar 55 Mpa, jika diberi beban sebesar 1000 N akan mendapatkan tegangan maksimum *Von Misses* sebesar 24 Mpa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan harga yang lebih murah (plat aluminium), peneliti bisa mendapatkan material yang punya kualitas sama baiknya dengan material yang lebih mahal (aluminium profile).

3.3 *Von Misses* stress pada poros sumbu y

Pada desain awal, liniear shaft dan lead screw disanggah dengan *part* tambahan. Namun, pada desain baru peneliti melakukan ubahan yang cukup berbeda pada penyangga *linear shaft* dan *lead screw* sumbu y, dengan memanfaatkan dimensi aluminium *plate* sebagai penyangga *linear shaft* dan *lead screw*.



Gambar 6 Tegangan *Von Misses* Maksimum Desain Baru



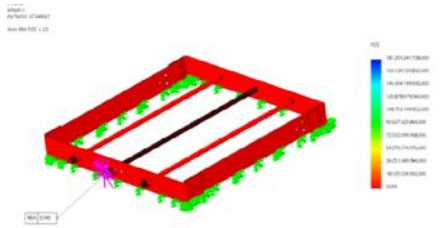
Gambar 7 Tegangan *Von Misses* Maksimum Desain Lama

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 merupakan hasil simulasi dengan *external load* berupa *torque* sebesar 0,4 Nm sesuai spesifikasi *motor stepper* Nema17. *Von Misses stress* maksimum pada poros desain lama sebesar 65,8 MPa dan 48,6 MPa pada desain baru.

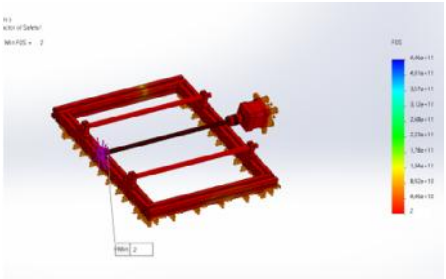
ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

3.4 Factor of safety pada rangka sumbu y

Dalam analisa ini berbeda dengan hasil analisa yang lain dimana warna biru dinyatakan aman, dalam analisa safety factor warna merah yang menunjukan daerah tersebut memiliki nilai safety factor yang paling rendah. Pada Gambar 8 dan Gambar 9 merupakan hasil simulasi *factor of safety* masing-masing desain.



Gambar 8 Hasil simulasi FOS desain baru



Gambar 9 Hasil simulasi FOS desain lama

Berdasarkan simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7, desain lama mendapatkan angka FOS = 2 dan desain baru dengan angka FOS = 3,5 dan dapat disimpulkan bahwa desain baru dan awal terbilang aman. Dibuktikan dengan nilai FOS > 1 dengan pemberian beban torsi pada masing-masing lead screw sumbu y sebesar 0.4 Nm.

3.5 Biaya

Tabel 3 Total Biaya Rancang Bangun Mesin CNC

Biaya total
Desain awal
Rp. 2.582.282
Setelah penerapan DFM (desain baru)
Rp. 2.338.038

Dari data pada Tabel 4 maka minimasi biaya untuk merancang bangun 1 unit CNC Milling 3 Sumbu (*custom made*) adalah sebagai berikut:

Minimasi = Biaya rancang bangun desain awal – desain baru
Minimasi = Rp. 2.582.282 – Rp. 2.338.038 = Rp. 244.244

Setelah penerapan *design for manufacturing* (DFM) maka didapatkan penurunan biaya sebesar Rp. 244.244 atau 11.9 %. Untuk Perbandingan biaya desain lama dengan yang baru bisa dilihat pada sub-judul 2.

3.6 Pilihan Desain

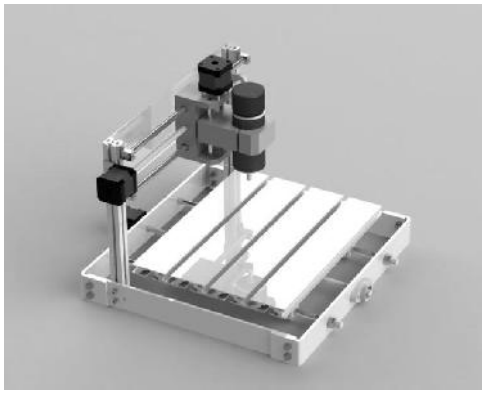
Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan biaya yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa desain baru lebih baik daripada desain lama. Perbandingan kedua desain tersebut bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 Perbandingan hasil parameter

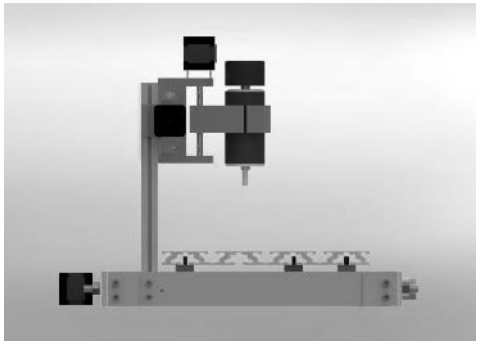
Parameter	**Desain Awal**	**Desain Baru**
Von Misses stress maximum pada komponen rangka utama	79 Mpa	24 Mpa

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

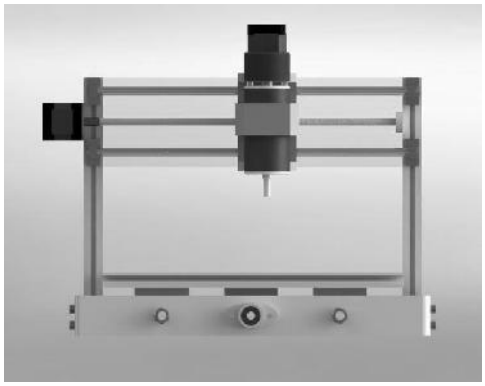
Parameter	Desain Awal	Desain Baru
Von Misses stress maximum dengan beban torsi 0.4 Nm pada poros sumbu y	48 Mpa	65,8 Mpa
Factor of safety rangka utama	3,5	2
Biaya rancang bangun	Rp. 2.582.282	Rp. 2.338.038



Gambar 10 Tampak isometric desain baru (dokumentasi pribadi, 2022)



Gambar 11 Tampak samping desain baru (dokumentasi pribadi, 2022)



Gambar 12 Tampak depan desain baru (dokumentasi pribadi, 2022)

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa metode DFM bisa membantu menyelesaikan dan mengurangi kerumitan pekerjaan proses secara efektif. DFM mampu membuat proses fabrikasi menjadi lebih efisien dan efektif. Pada studi kasus pembuatan 1 unit CNC *Milling* 3 Sumbu, penelitian ini dapat meminimasi biaya produksi sebesar 11,9%.

ISSN : 2723-3359 (Print)
ISSN : 2776-673X (Online)

DAFTAR PUSTAKA

Boothroyd G., dkk. "*Introduction. In Product design for manufacture and assembly by* Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston A. Knight". 5.th ed., pp. 1-5. 2015. M. Dekker, New York

Desphande, S. V. 2018. *Design and Fabriction Of 3-Axis CNC Milling Machine. Jurnal. Engineering Research and General Science* Volume 6, Issue 4, July-August, 2018. ISSN 2091-2730.

Hanggayuh, SH. *Analisis Finite Element* Pada Struktur *Mesin Micromilling* Dengan Material *Aluminum, Cast Iron, Steel, Dan Stainless Steel*. 2014. PhD Thesis. Universitas Gadjah Mada.

Hasibuan, dkk. 2019. Rancang Bangun Mesin CNC *Milling 3 Axis* Untuk *Anggrave* Pcb Berbasis Arduino Uno. Jurnal Rancang Bangun Mesin CNC. Politeknik Negeri Lhokseumawe. Aceh. ISSN 2581-2890.

Irawan, M., dkk. 2021. *Penerapan Metode DFMA Dirancang Bangun Rangka Purwarupa Mesin Potong Plasma. Prosiding* SNRTM, Volume 01 Desember 2021, pp. 1-6, e-ISSN: 2809-5588. url: