

RANCANG BANGUN MESIN MILLING CNC MINI 3 AXIS PERHITUNGAN MEKANIK SUMBU X, Y, DAN Z

DESIGN AND CONSTRUCTION MINI 3 AXIS CNC MILLING MACHINE MECHANICAL CALCULATION OF X, Y, AND Z AXIS

¹Wahid Hasim, ²Dito Refantino Ikhsan Simanjuntak, ³Edo Moris Andreas Silaen,
⁴Ubaidilah, ⁵Sovi Wulandari

^{1,2,3}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang Serang Kota Serang
Jl. Raya Jakarta Km 5 No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten
[Email:dosen03029@unpam.ac.id](mailto:dosen03029@unpam.ac.id)

ABSTRAK

Penelitian yang dikerjakan ini merupakan bagian dari sebuah proses perancangan dan pengkonstruksian mesin CNC milling dengan orientasi gerak 3 axis (sumbu x, y, dan z) dan hasil perhitungan tentang analisa dari masing-masing sumbu. Metode dalam perancangan mesin ini adalah studi pustaka, riset lapangan dan tanya jawab. Proses pembuatannya melalui beberapa tahapan yaitu desain dan perancangan, pembuatan dan perakitan komponen, dan pengujian dan analisa. Kesimpulan dari rancang rancang bangun mesin CNC milling 3 axis yang membahas tentang sumbu x, y, dan z adalah pada mesin mini *CNC Milling 3 Axis* akan di pengaruhi beban pada saat mesin bekerja. Dan akan di tanggung oleh kekuatan poros pada saat akselerasi . dengan hasil perhitungan sumbu X (Tegangan tarik $\sigma_c = 0.1864 N/mm^2$, tegangan tarik $\tau_{max} = 0.115 N/mm^2$), sumbu Y (Tegangan tarik $\sigma_c = 0.3729 N/mm^2$, tegangan geser $\tau_{max} = 0.23 N/mm^2$), sumbu Z (Tegangan tarik $\sigma_c = 0.1169 N/mm^2$, tegangan geser $\tau_{max} = 0.124 N/mm^2$). Sedangkan torsi dan defleksi puntiran pada poros ulir dari masing-masing sumbu, dengan mengaplikasikan beberapa rumus dan referensi lain dapat dinyatakan memenuhi syarat.

Kata Kunci : *Prototype CNC milling mini 3 axis, Sumbu X, Y, dan Z*

ABSTRACT

This research is part of a process of designing and constructing a CNC milling machine with a 3-axis motion orientation (x, y, and z axes) and the results of calculations on the analysis of each axis. The methods in designing this machine are literature studies, field research and questions and answers. The manufacturing process goes through several stages, namely design and planning, component manufacturing and assembly, and testing and analysis. The conclusion of the design of the 3-axis CNC milling machine that discusses the x, y, and z axes is that the 3-Axis CNC Milling mini machine will be affected by the load when the machine is working. And will be borne by the strength of the shaft during acceleration. with the calculation results of the X axis (Tensile stress $\sigma_c = 0.1864 N/mm^2$, tensile stress $\tau_{max} = 0.115 N/mm^2$), Y axis (Tensile stress $\sigma_c = 0.3729 N/mm^2$, shear stress $\tau_{max} = 0.23 N/mm^2$), Z axis (Tensile stress $\sigma_c = 0.1169 N/mm^2$, shear stress $\tau_{max} = 0.124 N/mm^2$). While the torque and twisting deflection on the threaded axis of each axis, by applying several formulas and other references can be stated to meet the requirements.

Keywords : *Prototype CNC milling mini 3 axis, X, Y, and Z axes*

I. PENDAHULUAN

Perusahaan manufaktur merupakan penopang utama perkembangan industri di sebuah negara. Perkembangan industri manufaktur di sebuah negara juga dapat digunakan untuk melihat perkembangan industri secara nasional di negara tersebut. Perkembangan ini dapat di lihat baik dari aspek kualitas produk yang dihasilkan maupun

kinerja industri secara keseluruhan. Perkembangan industri manufaktur di Indonesia mulai mengalami peningkatan yang pesat akhir-akhir ini. Sebagian produk-produk yang berasal dari industri manufaktur di Indonesia telah berhasil menguasai pangsa pasar dunia. Industri manufaktur lokal maupun asing yang berada di Indonesia saat ini hampir semuanya menggunakan mesin perkakas baik konvensional maupun mesin perkakas modern. Salah satu mesin yang digunakan pada industri manufaktur adalah mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Mesin CNC memiliki peranan penting dalam industri manufaktur karena tingginya permintaan akan produk yang memiliki tingkat akurasi dan presisi yang tinggi. Selain itu, mesin CNC memiliki keunggulan dalam hal pembuatan produk skala besar dengan efisiensi waktu yang tinggi. Penggunaan mesin CNC sebagai mesin perkakas modern semakin banyak dijumpai dalam industri manufaktur baik itu industri skala besar maupun menengah. CNC *turning, milling, grinding*, dan mesin CNC lainnya memiliki fungsi untuk mengerjakan suatu komponen secara efisien, hemat waktu, dan hemat biaya.

Perancangan gantry crane dengan kapasitas 500 kg merupakan langkah penting dalam proses pengangkatan material, terutama dalam industri manufaktur, konstruksi, dan perakitan. Gantry crane digunakan untuk memudahkan pemindahan beban secara horizontal dan vertikal dengan aman dan efisien. Perancangan ini memerlukan pertimbangan yang cermat terhadap faktor keselamatan, efisiensi, dan biaya.

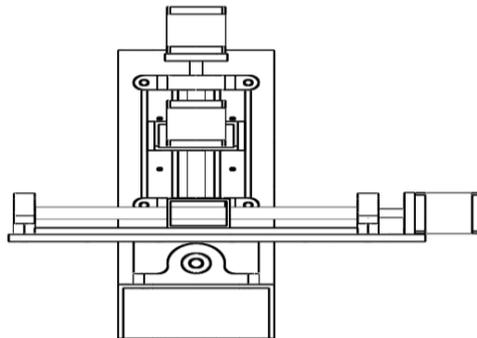
Teknologi pengerjaan atau proses pemesinan mengalami perubahan seiring adanya penemuan-penemuan yang kian pesat di era modern ini. Penemuan-penemuan baru tersebut merupakan jawaban dari tuntutan dunia industri akan produk yang berkualitas meliputi kepresisian yang tinggi, bentuk benda kerja yang kompleks serta kemampuan untuk menghasilkan produk secara massal. Salah satu penemuan baru tersebut adalah Mesin Perkakas *Milling CNC 3-Axis* yang kini penggunaan dan pemanfaatannya semakin dibutuhkan untuk memenuhi permintaan akan produk yang memiliki kualitas yang tinggi. Kebutuhan akan mesin perkakas CNC *3-Axis* sangat meningkat belakangan ini dengan tuntutan untuk mengerjakan bentuk *geometri* yang kompleks dan mengurangi waktu *set up* tetapi dengan biaya yang terjangkau. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka perlu dikembangkan mesin CNC *Milling* mini *3-Axis* dengan menggunakan sistem kontrol yang sederhana dimana biayanya lebih terjangkau, salah satunya adalah sistem kontrol terbuka atau *Open loop control system*. Tetapi sistem ini sangat mudah dipengaruhi oleh gangguan dari luar yang bersumber dari

Gambar 1. Diagram alir perancangan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan Poros Sumbu X,

Mesin CNC 3 Axis merupakan mesin dengan 3 sumbu penggerak. Dimana ada Sumbu X sebagai penggerak maju mundur, Sumbu Y sebagai penggerak kanan kiri serta, Sumbu Z sebagai penggerak naik turun terlihat Gambar 2. Mesin *Milling CNC* mini 3 axis tampak depan



Gambar 2. Mesin *Milling CNC* mini 3 axis tampak depan

Dengan memandangkan dari beberapa sumber, maka didapat :

1. Perhitungan di dasarkan pada titik tengah dari diameter poros ulir segi empat.

Data desain :

Diameter ulir (d_o) : \varnothing 16 mm

Beban yang di terima pada poros ulir : 28.7 N (massa benda kerja)

Pitch : 2 $\mu = \tan \theta = 0.12$

V : 50 mm/s

Faktor koreksi pada daya rata-rata $f_c = 1.2$ sampai 2, maka di ambil 1.2

Bahan poros ulir dan mur

Bahan SC 45 dengan tegangan tarik $\sigma_t = 58 \text{ kg/mm}^2$

Faktor keamanan

Bahan SC, $S_f1 = 6$

Untuk faktor tegangan $S_f2 = 1.5$

Maka tegangan tarik yang diijinkan adalah

$$\sigma_s = \frac{\sigma_t}{sf_1 \times sf_2} = \frac{58}{6 \times 1.5} = 6.4 \text{ kg/mm}^2 = 62.7 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan geser bahan yang diijinkan

$$\tau_s = (0.5 - 0.75) \sigma_s = 0.5 \times 62.7 = 31.35 \text{ N/mm}^2$$

Sehingga,

Torsi yang menggerakkan ulir penggerak adalah

$$d_c = d_o - p = 16 - 2 = 14 \text{ mm}$$

Diameter rata – rata ulir :

$$d = \frac{d_o + d_c}{2} = \frac{16 + 14}{2} = 15 \text{ mm}$$

$$\tan \alpha = \frac{p}{\pi \cdot d} = \frac{2}{\pi \cdot 15} = 0.0424$$

Torsi yang dibutuhkan untuk mengatasi gesekan pada ulir :

$$T = P \times \frac{d}{2} = W \times \tan(\alpha + \phi) \frac{d}{2} = W \times \left(\frac{\tan \alpha + \tan \phi}{1 - \tan \alpha \cdot \tan \phi} \right) \frac{d}{2} =$$

$$28.7 \times \left(\frac{0.0424 + 0.12}{1 - 0.0424 \times 0.12} \right) \frac{15}{2} = 36.43 \text{ Nmm}$$

Tegangan tekan maksimum

$$\sigma_c = \frac{W}{A_c} = \frac{W}{\pi/4(d_c)^2} = \frac{28.7}{\pi/4(14)^2} = 0.1864 \text{ N/mm}^2 = 0.1864 \text{ MPa}$$

Maka tegangan tarik $\sigma_c = 0.1864 \text{ N/mm}^2$ kurang dari tegangan tarik ijin $\sigma_s = 62.7 \text{ N/mm}^2$, berarti perancangan ini **aman**.

Jumlah ulir pada mur

$$n = \frac{\text{Tinggi/Panjang mur}}{\text{pitch}} = \frac{60}{2} = 30 \text{ ulir}$$

Tebal ulir

$$t = \frac{p}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ mm}$$

Tekanan bantalan pada baut dan mur

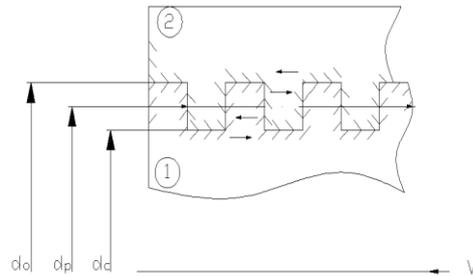
$$P_b = \frac{W}{\pi \cdot d \cdot t \cdot n} = \frac{28.7}{\pi \cdot 15 \cdot 1 \cdot 30} = 0.0203 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan geser maks di ulir

$$\tau = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot (d_c)^3} = \frac{16 \cdot 36.43}{\pi \cdot (14)^3} = 0.0676 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\tau_{max} &= \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_c)^2 + 4\tau^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(0.1864)^2 + 4 \times 0.0676^2} = 0.115 \text{ N/mm}^2 \\ &= 0.115 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Maka tegangan geser $\tau_{max} = 0.115 \text{ N/mm}^2$ kurang dari tegangan geser $\tau_s = 31.35 \text{ N/mm}^2$, berarti perancangan ini **aman**



Gambar 3. Tegangan geser pada ulir segi empat x

Torsi yang dibutuhkan tanpa gesekan

$$T_o = W \times \tan \alpha \cdot \frac{d}{2} = 28.7 \times 0.0424 \times \frac{15}{2} = 9.13 \text{ Nmm}$$

Efisiensi ulir

$$\eta = \frac{T_o}{T} = \frac{9.13}{36.43} = 0.25 \sim 25 \%$$

Kecepatan rotasi

$$N = \frac{60V}{P.G} = \frac{60 \times 50}{2 \times 1} = 150 \text{ r/min}$$

Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan ulir

$$P = T \cdot \omega = T \cdot 2\pi \cdot N/60 = 0.03643 \cdot 2\pi \cdot 150/60 = 0.57 \text{ kW}$$

Momen puntir yang terjadi

$$Pd = P \times fc = 0.57 \times 1.2 = 0.684 \text{ kW}$$

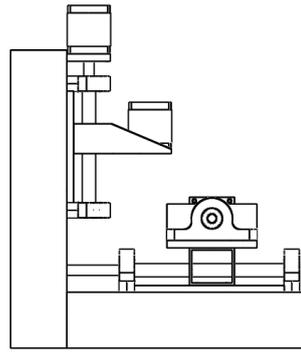
$$Mp = 9.74 \cdot 10^5 \cdot \frac{Pd}{n} = 9.74 \cdot 10^5 \cdot \frac{0.684}{150} = 4441.44 \text{ Nm}$$

Defleksi puntiran (θ)

$$\theta = 548 \frac{Mp \cdot L}{G \cdot ds^4} = 548 \frac{4441.44 \times 50}{8.3 \times 10^3 \times 16^4} = 0.23^\circ$$

Karena defleksi puntiran $\theta < 0.3^\circ$, maka perancangan memenuhi syarat.

3.2 Perhitungan Poros Sumbu Y



Gambara 4. Mesin *Milling CNC* mini 3 axis tampak samping

Dengan memandangkan dari beberapa sumber, maka didapat :

1. Perhitungan di dasarkan pada titik tengah dari diameter poros ulir segi empat.

Data desain :

Diameter ulir (d_o) : \varnothing 16 mm

Beban yang di terima pada poros ulir : 57.4 N (massa meja + massa benda)

Pitch : 2 $\mu = \tan \theta = 0.12$

V : 50 mm/s

Faktor koreksi pada gaya rata-rata $f_c = 1.2$ sampai 2, maka di ambil 1.2

Bahan poros ulir dan mur Bahan SC 45 denan tegangan tarik $\sigma_t = 58 \text{ kg/mm}^2$

Faktor keamanan

Bahan SC, $Sf_1 = 6$

Untuk faktor tegangan $Sf_2 = 1.5$

Maka tegangan tarik yang diijinkan adalah

$$\sigma_s = \frac{\sigma_t}{sf_1 \times sf_2} = \frac{58}{6 \times 1.5} = 6.4 \text{ kg/mm}^2 = 62.7 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan geser bahan yang diijinkan

$$\tau_s = (0.5 - 0.75) \sigma_s = 0.5 \times 62.7 = 31.35 \text{ N/mm}^2$$

Sehingga,

Torsi pada ulir segi empat adalah

$$d_c = d_o - p = 16 - 2 = 14 \text{ mm}$$

Diameter rata – rata ulir :

$$d = \frac{d_o + d_c}{2} = \frac{16 + 14}{2} = 15 \text{ mm}$$

$$\tan \alpha = \frac{p}{\pi \cdot d} = \frac{2}{\pi \cdot 15} = 0.0424$$

Torsi yang dibutuhkan untuk mengatasi gesekan pada ulir :

$$T = P \times \frac{d}{2} = W \times \tan(\alpha \times \phi) \frac{d}{2} = W \times \left(\frac{\tan \alpha + \tan \phi}{1 - \tan \alpha \cdot \tan \phi} \right) \frac{d}{2}$$

$$= 57.4 \times \left(\frac{0.0424 + 0.12}{1 - 0.0424 \times 0.12} \right) \frac{15}{2} = 72.85 \text{ Nmm}$$

Tegangan tekan maksimum

$$\sigma_c = \frac{W}{Ac} = \frac{W}{\pi/4(dc)^2} = \frac{57.4}{\pi/4(14)^2} = 0.3729 \text{ N/mm}^2 = 0.3729 \text{ MPa}$$

Maka tegangan tarik $\sigma_c = 0.3729 \text{ N/mm}^2$ kurang dari tegangan tarik ijin $\sigma_s = 62.7 \text{ N/mm}^2$, berarti perancangan ini **aman**.

Jumlah ulir pada mur

$$n = \frac{\text{Tinggi/Panjang mur}}{\text{pitch}} = \frac{60}{2} = 30 \text{ ulir}$$

Tebal ulir

$$t = \frac{p}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ mm}$$

Tekanan bantalan pada baut dan mur

$$Pb = \frac{W}{\pi \cdot d \cdot t \cdot n} = \frac{57.4}{\pi \cdot 15 \cdot 1 \cdot 30} = 0.0406 \text{ N/mm}^2$$

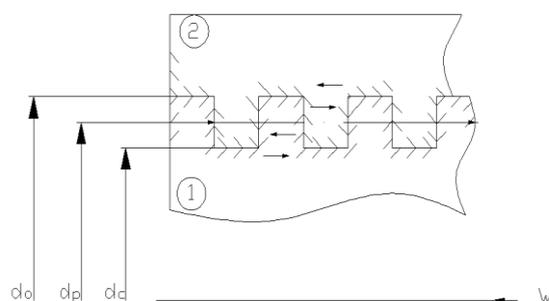
Tegangan geser maks di ulir

$$\tau = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot (dc)^3} = \frac{16 \times 72.85}{\pi \cdot (14)^3} = 0.135 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_c)^2 + 4\tau^2} = \frac{1}{2} \sqrt{(0.3729)^2 + 4 \times 0.135^2} = 0.23 \text{ N/mm}^2$$

$$= 0.23 \text{ MPa}$$

Maka tegangan geser $\tau_{max} = 0.23 \text{ N/mm}^2$ kurang dari tegangan geser ijin $\tau_s = 31.35 \text{ N/mm}^2$, berarti perancangan ini **aman**.



Gambar 5. Tegangan geser pada ulir segi empat sumbu y

Torsi yang dibutuhkan tanpa gesekan

$$T_o = W \times \tan \alpha \cdot \frac{d}{2} = 57.4 \times 0.0424 \times \frac{15}{2} = 18.25 \text{ Nmm}$$

Efisiensi ulir

$$\eta = \frac{T_o}{T} = \frac{18.25}{72.85} = 0.25 \sim 25 \%$$

Kecepatan rotasi

$$N = \frac{60V}{P.G} = \frac{60 \times 50}{2 \times 1} = 150 \text{ r/min}$$

Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan ulir

$$P = T \cdot \omega = T \cdot 2\pi \cdot N/60 = 0.07285 \cdot 2\pi \cdot 150/60 = 1.14 \text{ kW}$$

Momen puntir yang terjadi

$$Pd = P \times fc = 1.14 \times 1.2 = 1.368 \text{ kW}$$

$$Mp = 9.74 \cdot 10^5 \cdot \frac{Pd}{n} = 9.74 \cdot 10^5 \cdot \frac{1.368}{50} = 8882.88 \text{ Nm}$$

Defleksi puntiran(θ)

$$\theta = 548 \frac{Mp \cdot L}{G \cdot ds^4} = 548 \frac{8882.88 \times 35}{8.3 \times 10^3 \times 16^4} = 0.3^\circ$$

Karena defleksi puntiran $\theta < 0.3^\circ$, maka perancangan memenuhi syarat.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat di ambil dari Rancang bangun mini *milling* CNC mini 3 *axis* (perancangan sumbu X,Y, dan Z) ini adalah.

- Mesin ini nantinya akan di gunakan sebagai *prototype* pembelajaran cara kerja, pemrograman mesin *CNC Milling 3 Axis*
- Sumbu X,Y,Z pada mesin mini *CNC Milling 3 Axis* akan di pengaruhi beban pada saat mesin bekerja. Dan akan di tanggung oleh kekuatan poros pada saat akselerasi dengan hasil perhitungan Sumbu X
- Tegangan tarik $\sigma_c = 0.1864 \text{ N/mm}^2$ kurang dari tegangan tarik ijin $\sigma_s = 62.7 \text{ N/mm}^2$, berarti **aman**. Tegangan geser $\tau_{max} = 0.115 \text{ N/mm}^2$ kurang dari tegangan geser ijin $\tau_s = 31.35 \text{ N/mm}^2$, berarti **aman** Sumbu Y
- Tegangan tarik $\sigma_c = 0.3729 \text{ N/mm}^2$ kurang dari tegangan tarik ijin $\sigma_s = 62.7 \text{ N/mm}^2$, berarti **aman**. Tegangan geser $\tau_{max} = 0.23 \text{ N/mm}^2$ kurang dari tegangan geser ijin $\tau_s = 31.35 \text{ N/mm}^2$, berarti **aman** Sumbu Z

- e) Tegangan tarik $\sigma_c = 0.1169 N/mm^2$ kurang dari tegangan tarik ijin $\sigma_s = 62.7 N/mm^2$, berarti **aman**. Tegangan geser $\tau_{max} = 0.124 N/mm^2$ kurang dari tegangan geser ijin $\tau_s = 31.35 N/mm^2$, berarti **aman**
- f) Dari data di atas menunjukkan bahwa perancangna sumbu X,Y, dan Z dapat di nyatakan **aman dan layak**,
- g) Sedangkan torsi poros dan defleksi puntiran pada poros ulir dari semua sumbu , dengan mengaplikasikan bebrapa rumus,dan referensi lain dapat di nyatakan **aman dan laya** Defleksi puntiran $\theta < 0.3^\circ$, maka perancangan memenuhi syarat.

B. SARAN

Setelah perancangan mesin milling CNC mini 3 axis dengan sub judul perhitngan mekanik sumbu X, Y, dan Z dibuat, maka kedepannya diharapkan ada tindak lanjut untuk membahas lebih detail lagi mengenai struktur material dari tiap bagian, dimana fungsi dari struktur material itu sendiri adalah kita dapat mengetahui kekuatan-kekuatan material dalam membuat atau merancang sebuah mesin sehingga dapat memenuhi *safety factor* secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih saya Ucapkan Kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang kampus Serang, rekan -rekan dosen dan mahasiswa yang telah membantu dan serta Tim peneliti dari Teknik Mesin dan Semua Pihak yang sudah berperan aktif dan sudah berkontribusi dan mendukung baik scara moral ataupun material

DAFTAR PUSTAKA

- Darsan, Herri. "Analisa Distribusi Tegangan Total, Tegangan Geser Maksimum Dan Deformasi Total Pada Poros Dan Rollbendingdengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software Simulasi Numeric." *J-Innovation* 5.2 (2016): 13-18.
- Furqon, Gusti Rusydi, and Muhammad Firman. "Analisa Uji Kekerasan pada Poros Baja ST 60 dengan Media Pendingin yang Berbeda." *Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 1.1 (2016).
- Ikhsan, Ikhwanul, and A. Hipi. "Analisis pengaruh pembebanan terhadap kinerja kincir angin tipe propeller pada wind tunnel sederhana." *TA, Makasar* (2011).
- Intan, Permatasari. "Rancang Bangun Mesin Computer Numerical Control (Cnc) Laser Cutter 3 Axis Menggunakan Breakout Board Usb Mach3 Dan Motor Stepper Nema 23." (2024).
- Mananoma, Freddy, Agung Sutrisno, and Stenly Tangkuman. "Perancangan Poros Transmisi Dengan Daya 100 HP." *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat* 6.1 (2016).

- Mawar, Mawar, et al. "Perancangan Mini CNC (Computer Numerical Control) DVD Drive." *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur (MAPLE)* 2.1 (2020): 1-6.
- Lubis, Faisal, et al. "Analisa Kekuatan Bearing Pada Prototype Belt Conveyor." *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)* 2.2 (2021): 51-57.
- Suherman, Suherman, et al. "Analisa Pembebanan pada Bilah Pengaduk dan Poros Utama pada Mesin Pencampur Pupuk Majemuk dengan Software SOLIDWORK." *Jurnal Rekayasa Mesin* 19.1 (2024): 139-152.
- Supriyana, Nana, and Akhmad Kholidin. "Analisa tegangan poros roda gerbong kereta api dengan metode elemen hingga." *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer* 7.2 (2016): 681-686.
- Nugroho, Cahyo Hadi, Muhamad Safi'i, and Anugrah Widhi Pangestu. "Analisa Analisa Perhitungan Matematis Baban Pada Poros As Roda Depan Sepeda Motor Beat-Fi 2023." *Storage: Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer* 3.1 (2024): 1-5.