

## PENGEMBANGAN DESAIN PROTOTIPE MESIN CNC MILLING 3-AXIS (SPACE V3)

Benedict Bagaskara K<sup>1\*</sup>, Danielle Bagus Rizky S<sup>2</sup>, Emanuel Talenta Blessa<sup>3</sup>, Tommy Setyo Wibowo<sup>4</sup>, St. Andriyanto Eko Prabowo<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Teknik Mesin Industri, Politeknik ATMI Surakarta  
Jl. Mojo No. 1 Karangasem, Laweyan, Surakarta 57145

\*Email: eko.prabowo@atmi.ac.id

### Abstrak

Desain prototipe mesin CNC milling 3-axis (SPACE V3) dibuat untuk mengembangkan prototipe mesin CNC milling 3-axis (SPACE V2). Penggantian yang dilakukan meliputi motor stepper nema 23 menjadi nema 17, linear rail guide HGW 15 menjadi MGN 12, dan penambahan tombol emergency stop. Pengembangan desain dilakukan agar ukuran sesuai dengan standar part baru yang digunakan. Desain yang dikembangkan meliputi desain aktuator, desain spindle, dan desain base mesin. Aktuator sumbu x, y, dan z memiliki panjang langkah 135 mm. Cover aktuator yang digunakan yaitu aluminium machining dan memiliki massa total 1,828 kg. Pada bagian spindle menggunakan motor DC 12V yang dicekam oleh holder aluminium machining. Base dengan material plat Ms dipilih untuk menggantikan base generasi ke-2 agar masa yang dihasilkan menjadi ringan. Prototipe mesin CNC milling 3-axis (SPACE V3) memiliki dimensi mesin total 347 x 347 x 419 mm dan massa total 13 kg. Perancangan desain prototipe mesin CNC milling 3-axis (SPACE V3) sudah memenuhi tuntutan untuk beban angkat maksimal sebesar 4,47 kg. Tegangan lengkung yang diterima pada titik kritis sebesar  $5,205453019 \text{ N/mm}^2$  dan defleksi yang terjadi pada base sebesar  $3,6 \times 10^{-4} \text{ mm}$ , sehingga desain prototipe mesin CNC milling 3-axis (SPACE V3) layak untuk direalisasikan.

**Kata kunci:** CNC, Desain, Prototipe, 3-Axis

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di dunia industri menjadi tantangan tersendiri bagi dunia pendidikan. Khususnya dengan adanya prototipe mesin milling CNC 3-axis generasi kedua (SPACE V2) yang melakukan pengembangan dari generasi pertama. Pengembangan yang dilakukan yaitu penggantian aluminium profile C dengan aluminium machining, penggantian roller menjadi rail guide, penggantian lead screw menjadi ball screw. Prototipe mesin milling CNC 3-axis generasi kedua (SPACE V2) masih terdapat kekurangan yang harus dikembangkan agar mencapai tujuan yang diinginkan yaitu compact dan optimal.

Prototipe mesin CNC 3-axis generasi kedua (SPACE V2) memiliki massa mesin 35kg, dan dimensi mesin 450mm x 500mm x 680mm, dirasa masih terlalu berat dan terlalu besar (tidak compact). Motor stepper nema 23 dengan torsi 1,3N digunakan untuk penggerak sumbu X, Y, dan Z. Dimensi langkah kerja maksimal 195mm x 195mm x 195mm, dan volume pengerjaan 100mm x 100mm x 50mm belum cukup untuk menjadi produk yang optimal. Mesin generasi ke-2 masih memiliki kekurangan dalam hal fitur keamanan berupa emergency stop.

Desain prototipe mesin milling CNC 3-axis generasi ketiga (SPACE V3) dibuat agar dapat memperbaiki kekurangan dari prototipe mesin milling CNC 3-axis generasi kedua (SPACE V2). Pengembangan yang dilakukan meliputi aspek penggantian standart part, dan desain mesin. Pengembangan dilakukan agar mesin menjadi lebih compact dan optimal.

## 2. METODOLOGI

Dalam perancangan memerlukan beberapa proses, bahan dan peralatan sebagai perlengkapan dalam proses perancangan serta beberapa metode pengumpulan data dan perumusan masalah.

## 2.1. Referensi Mesin

Mesin *CNC milling* adalah sebuah perangkat mesin perkakas jenis *milling* yang dikendalikan dengan sistem komputer dengan gerak otomatis yang di kontrol atau diprogram dengan bahasa *numeric*. Berdasarkan tujuan pembuatan prototipe mesin *CNC milling 3-axis*, dipilih beberapa referensi dari desain mesin *CNC mini* yang telah beredar di pasaran. Berikut referensi yang digunakan:

Nama Mesin	: Dobot Mooz all-in-one CNC
Produsen	: Dobot
Harga	: Rp 14.820.000,-
Dimensi	: 285 x 258 x 318 mm
Spesifikasi	: 12000 RPM
Material	: kayu, plastik, PCB, material non-logam



**Gambar 1. Dobot Mooz all-in-one CNC**

Nama Mesin	: Snapmaker 3-in-1 3D Printer
Produsen	: Snapmaker
Harga	: Rp 20.000.000,-
Dimensi	: 289x272x335 mm
Spesifikasi	: 19000 RPM
Material	: kayu, plastik, PCB, acrylic, carbon fibre



**Gambar 2. Snapmaker 3-in-1 3D Printer**

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Definisi mesin

Mesin *CNC* adalah mesin yang menggunakan program terperintah dari suatu komputer, dimana *CNC (Computer Numerical Control)* merupakan mesin perkakas yang dioperasikan secara terprogram dan berjalan otomatis. Pada prinsipnya mesin perkakas *CNC* merubah cara pengendalian gerak eretan dan putaran *spindle* dengan cara manual diganti dengan *control numeric* (Sarwanto,2018). Pengerjaan dalam jumlah yang besar dalam waktu yang singkat dengan ketelitian ukuran yang tinggi sangat dibutuhkan untuk tuntutan produksi di industri.

Mesin *milling* adalah mesin perkakas yang berfungsi untuk membuat bidang datar dan juga kontur dengan proses pemotongan atau penyayatan yang terjadi karena adanya kontak

antara alat potong (*cutter*) yang berputar dengan benda kerja yang tercekam pada meja mesin.

### 2.2.2. Part List

#### A. Motor *Stepper*

Motor *stepper* adalah motor yang bergerak tiap stepnya atas penerimaan perubahan frekuensi sinyal atau sering disebut dengan pulsa (suroso, 2015).

#### B. *Coupling*

*Coupling* berfungsi untuk menghubungkan dua poros guna menyalurkan suatu gerakan.

#### C. Motor *Spindel*

Motor *spindle* adalah bagian dari mesin yang berfungsi sebagai memutar alat potong. *Motor Spindel* dapat berputar searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam.

#### D. MKS Sbase V1.3

*MKS Sbase V1.3* adalah *controller panel board* yang berfungsi sebagai kontrol inti sistem penggerak mesin. *MKS Sbase V1.3* menggunakan *32bit 100M cortex-MS MCPU-LPC 1768*, sehingga mendukung *firmware open source* yang sangat modular.

#### E. *Ballscrew*

*Ballscrew* disebut juga dengan *ball bearing screw*, yang terdiri atas *spindle screw* dan *nut*. *Ballscrew* adalah sistem gerak mekanik yang mengubah gerak rotasi menjadi gerak linear dengan sedikit gesekan.

#### F. *Rail Guide*

*Rail guide* adalah suatu *profil rel* atau sistem rel *linear* yang khusus dikembangkan untuk aplikasi sistem otomatisasi mekanik dan diperuntukkan untuk memudahkan gerakan *linear* (Suroso, 2016).

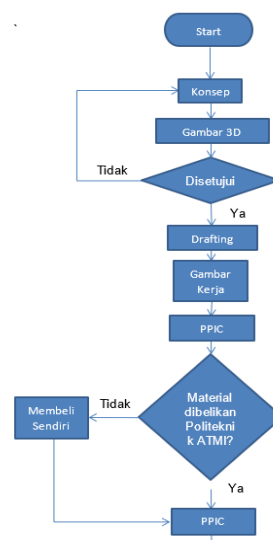
#### G. *Limit switch*

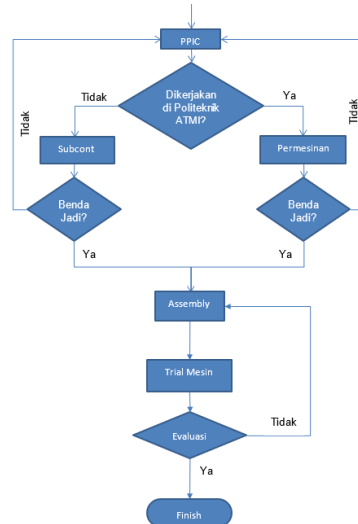
*Limit switch* termasuk jenis *Push Button Switch* adalah perangkat elektromekanis yang berfungsi sebagai pembatas, dipasang dibagian ujung dan kontak akan terjadi jika sensor membaca benda yang bergerak.

#### H. *Collet Adapter*

*Collet* merupakan alat pemegang *endmill cutter* yang bertangkai lurus (Sumardiyono, 2006). Ukuran diameter lubang *collet* yang dipakai harus sesuai dengan ukuran tangkai *cutter* yang akan digunakan supaya tangkai *cutter* dapat tercekam sempurna.

### 2.3. Flowchart Tahapan Realisasi





### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan desain prototipe mesin *CNC milling* 3-axis dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu pembuatan morfologi desain, pembuatan desain dalam *software 3D*, perhitungan spesifikasi mesin dan kekuatan rancang bangun, dan pembuatan desain gambar 2D.

#### 3.1. Morfologi Desain

**Tabel 1. Morfologi Desain**

No.	Part	Generasi 2	Generasi 3	Alasan Pemilihan
1.	Frame	<b>Aluminium Machining</b> - Bahan aluminium. - Dimensi setelah dirakit P x T x L = 470 x 84 x 84 (mm). - Tebal setiap frame 10 mm.	<b>Aluminium Machining</b> - Bahan aluminium. - Dimensi P x T x L = 347 x 58 x 58 (mm). - Tebal setiap frame 8 mm.	Dimensi frame diperkecil karena mesin <i>milling CNC SPACE V2</i> terlalu besar dan berat sehingga pada mesin <i>milling CNC SPACE V3</i> menjadi lebih <i>compact</i> dan lebih ringan.
2.	X, Y, Z Axis Transmission	<b>Ball Screw</b> - Gesekan yang dihasilkan rendah - Berdiameter 12 mm - Memiliki kepresisian yang baik	Sama seperti Generasi ke-2	Mesin yang akan dibuat harus memenuhi tuntutan kepresisian yang baik, maka pemilihan <i>ball screw SFU1204</i> tetap dipertahankan.
3.	X, Y, Z Axis Guidance	<b>Linear Rail Guide HGW 15</b> Ukuran lebih besar T x L = 15 x 15 (mm).	<b>Linear Rail Guide MGN12</b> Ukuran lebih kecil T x L = 8 x 12 (mm).	<i>linear guide MGN 12</i> dipilih karena ukuran <i>rail guide</i> yang sesuai dengan ukuran frame mesin <i>milling CNC SPACE V3</i> dan memiliki kepresisian yang sama.
4.	Motor Actuator	<b>Motor Stepper Nema 23</b> Kemampuan menerima beban lebih besar. Torsi yang dikeluarkan 1,3N.	<b>Motor Stepper Nema 17</b> Kemampuan menerima beban lebih kecil. Torsi yang dikeluarkan 0,7N.	Nema 17 dipilih karena <i>load torsi</i> yang dibutuhkan sesuai dan mencukupi dengan massa aktuator yang digunakan. Penggantian bertujuan agar dimensi menjadi lebih <i>compact</i> dan ringan.
5.	Coupling	<b>Flexible Coupling</b> Diameter lubang = 5 dan 8 (mm).	<b>Flexible Coupling</b> Sama seperti Generasi 2.	<i>Flexible coupling</i> memiliki faktor keamanan yang lebih baik dari <i>fixed coupling</i> , juga karena menggunakan <i>part</i> yang sudah ada untuk membuat biaya pengembangan mesin lebih terjangkau.
6.	Controllor	<b>MKS Board V1.3</b> - Bisa digunakan hingga tegangan 24V - Referensi lebih lengkap dan banyak	<b>MKS Board V1.3</b> Sama seperti Generasi ke-2.	<i>MKS Board V.13</i> dipilih karena dapat lebih praktis dalam menjalankan program dan dapat digunakan dalam 3 mode, yaitu: <i>milling</i> , <i>laser cutting</i> , dan juga <i>3D printing</i> . Kami masih mempertahankan <i>part MKS Board V1.3</i> karena mudahnya proses install.
7.	Base mesin	<b>Aluminium Machining</b> - Bahan aluminium tebal 10 mm.	<b>Ms Sheet</b> - Bahan plat Ms tebal 2	Plat Ms dipilih sebagai material base mesin karena factor proses

- Dimensi P x T x L = 500 x 450 x 190 (mm).

mm  
- Dimensi P x T x L = 347 x 263 x 72 (mm).

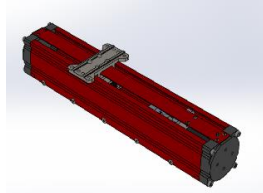
*machining* yang mudah. Penggunaann plat *Ms* membuat *base* mesin dapat menjadi lebih ringan.

## 3.2. Perancangan Desain

### 3.2.1. Perancangan Mesin

#### 3.2.1.1. Perancangan Aktuator

Aktuator dirancang identik antara ketiga sumbu, sehingga dapat ditukar dengan mudah dan pengguna bisa memasangnya tanpa terbalik.



Gambar 3. Aktuator

#### 3.2.1.2. Perancangan *Electronics Base*

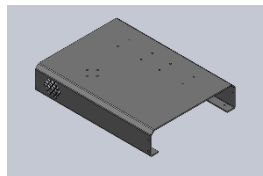
*Electronics base* dibuat menjadi tempat semua perangkat elektronik mesin. Dibuat dengan bahan *sheet metal* yang melalui proses *bending*.



Gambar 4. elektronik base

#### 3.2.1.3. Perancangan *Base*

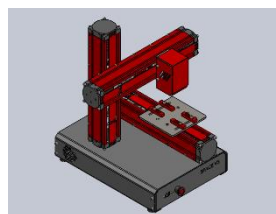
*Base* dibuat menggunakan bahan *plate* supaya ringan. Pada bagian bawah *base* dibuat *profil c*, tujuannya supaya *electronics box* dapat diletakkan di bawahnya.



Gambar 5. *Base*

#### 3.2.1.4. Perancangan Mesin

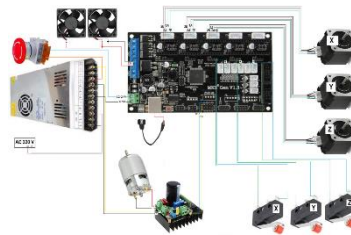
Desain dari mesin generasi ketiga memiliki dimensi 347 x 347 x 419 mm dan memiliki berat sekitar 12,965 kg.



Gambar 6. *Assembly Mesin V3*

## 3.3. Wiring

Perancangan wiring dilakukan untuk menyambungkan semua perangkat elektronik agar tersambung pada power suply. Berikut merupakan proses wiring secara total:



Gambar 7. Wiring

### 3.4. Perhitungan

#### 3.4.1. Massa dan Dimensi Mesin

Pendataan massa mesin dilakukan untuk mengetahui massa dari tiap *sub assembly* yaitu *sub assembly actuator*, *sub assembly spindle*, *sub assembly base*. Pendataan massa didapatkan dari analisis *software Solidwork*. Pendataan dimensi mesin dilakukan untuk mengetahui dimensi keseluruhan mesin. Berikut adalah data berat mesin :

Tabel 2. Masa dan Dimensi Mesin

Sub Assembly	Massa (Kg)	Jumlah	Massa(kg)
Actuator	1,828	3	5,484
Spindle	1,032	1	1,032
Assy Base	5,9	1	5,9
Table	0,549	1	0,549
		Total	12,965

Dimensi mesin memiliki panjang x lebar x tinggi yaitu 347 x 347 x 419 mm.

#### 3.4.2. Perhitungan Motor Stepper

Perhitungan berat maksimal yang dapat digerakkan motor *stepper* 0,73 Nm dengan angka keamanan 1,5 Nm digunakan untuk mencari massa maksimal yang mampu digerakkan oleh mesin.

$$T^l L = TL \times n$$

$$0,73 = TL \times 1,5$$

$$TL = 0,487 \text{ Nm}$$

Setelah diketahui TL maka akan dicari F (gaya) yang akan digunakan untuk mencari massa.

$$TL = \frac{F \times Pbs}{2 \times \pi \times n} + \frac{\mu \times F_0 \times Pbs}{2 \times \pi}$$

$$0,487 = \frac{F \times 0,004}{2 \times \pi \times 0,9} + \frac{0,065 \times \frac{1}{3} F \times 0,004}{2 \times \pi}$$

$$F = 675,31174 \text{ N}$$

Perhitungan massa benda tanpa koefisien gesek

$$F = m \times a$$

$$675,31174 = m \times 9,81$$

$$m = 68,839 \text{ kg}$$

Massa sebesar 68,839 kg tersebut dalam permukaan yang licin. Dalam menentukan massa maksimal benda diperlukan koefisien gesek. Koefisien gesek yang digunakan sebesar 0,065. Berikut merupakan perhitungan massa maksimal benda

$$m^l = 68,839 \times 0,065$$

$$m^l = 4,474 \text{ kg.}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan massa maksimal benda yang dapat digerakkan sebesar 4,474kg.

### 3.4.3. Perhitungan Tegangan Lengkung

Momen lengkung dicari berdasarkan jarak dari titik kritis menuju titik berat sistem. Perhitungan gaya pada sistem dengan gaya berat aktuator sebesar 17,933 N dan gaya pada spindel sebesar 10,124 N.

$$Mb = F \times \ell$$

$$M = (17,933 \times \sqrt{(72,66^2 + 68,8^2)}) + (10,124 \times \sqrt{(192,37^2 + 128^2)})$$

$$Mb = 4133,741858 \text{ Nmm}$$

Perhitungan Momen lengkung dengan angka keamanan 1,5 digunakan untuk mencari tegangan lengkung.

$$M'b = 4133,741858 \times 1,5$$

$$M'b = 6200,612787 \text{ Nmm}$$

Part connector block merupakan titik paling kritis pada sambungan aktuator sumbu z dengan aktuator sumbu x. Perhitungan dari persamaan 2.15 momen inersia pada titik kritis dicari untuk mencari momen tahanan lengkung.

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I = \left[ \frac{1}{12} \times 34 \times 30^3 \right] - \left[ \frac{1}{12} \times 25 \times 30^3 \right]$$

$$I = 20250 \text{ mm}^4$$

Perhitungan momen tahanan lengkung dengan Lmax sebesar 17 mm.

$$Wb = \frac{I}{L_{max}}$$

$$Wb = \frac{20250}{17}$$

$$Wb = 1191,1764 \text{ mm}^3$$

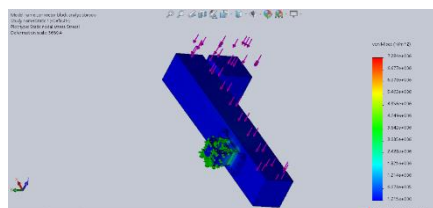
Perhitungan tegangan lengkung dari hasil pembagian antara momen lengkung dengan momen tahanan lengkung.

$$\sigma_b = \frac{Mb}{Wb}$$

$$\sigma_b = \frac{6200,612787}{1191,1764}$$

$$\sigma_b = 5,205453019 \text{ N/mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan tegangan lengkung dengan nilai 5,205453019 N/mm<sup>2</sup>. Nilai yang didapat masih sesuai dengan analisis yang dilakukan pada software solidwork.



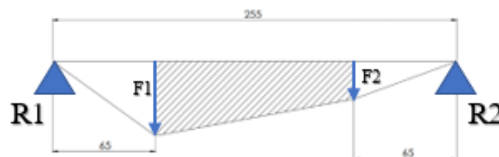
**Gambar 8. Analisis Tegangan Lengkung**

Hasil analisis tegangan maksimal yang didapatkan sebesar  $7,284 \text{ N/mm}^2$ . Perhitungan yang didapat sebesar  $5,205453019 \text{ N/mm}^2$  masih berada dibawah batas atas nilai tegangan pada analisis.

### 3.4.4. Perhitungan Defleksi

Perhitungan defleksi diperlukan untuk mencari defleksi yang terjadi pada base setelah menerima gaya dari sistem. Pada sistem terdapat 2 gaya berat dari 3 aktuator, spindle dan meja mesin. Penjabaran gaya F1 sebesar 45,992 N merupakan gaya berat dari 2 aktuator, dan spindle. Penjabaran gaya F2 sebesar 23,32 N merupakan gaya berat dari aktuator, dan meja mesin.

*BMD* merupakan bending momen diagram yang terbentuk dari gaya-gaya yang terjadi. Dalam *BMD* dapat terlihat luasan-luasan yang akan dihitung untuk mencari defleksi yang terjadi.



Gambar 9. Defleksi Gaya

Perhitungan luas *BMD* dengan bentuk trapesium yang terarsir.

$$AM = \frac{(F1 + F2) \times \ell}{2}$$

$$AM = \frac{(45,992 + 23,32) \times 125}{2}$$

$$AM = 4332 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak titik berat *BMD*.

$$X0 = \frac{\sum X.L}{AM}$$

$$X0 = \frac{241233,89}{4332}$$

$$X0 = 55,6864$$

Perhitungan momen inersia dari base mesin dengan nilai b sebesar 2 mm dan nilai h sebesar 255 mm.

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I = \frac{1}{12} \times 2 \times 255^3$$

$$I = 2763562,5 \text{ mm}^4$$

Perhitungan dari persamaan 2.20 defleksi dengan modulus elastisitas material Ms sebesar  $240 \text{ N/mm}^2$ .

$$f = \frac{1}{E \times I} \times AM \times X0$$

$$f = \frac{1}{240 \times 2763562,5} \times 4332 \times 55,6864$$

$$f = 0,0003637125 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai defleksi yang terjadi sebesar  $0,000363712 \text{ mm}$ . Nilai defleksi yang terjadi sangat kecil sehingga pemilihan base menggunakan Ms sheet sangat memungkinkan. Reinforcement pada cover base depan dan cover base belakang diberikan untuk mengurangi terjadinya getaran yang terjadi akibat gerakan yang terjadi.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa yang dilakukan dapat disimpulkan desain mesin *CNC milling 3-Axis* generasi ketiga lebih *compact* dan optimal dari generasi kedua dengan hasil massa mesin total seberat 12,965 Kg dengan dimensi total mesin 347 x 347 x 419 mm. Tegangan lengkung pada titik kritis sebesar  $5,205453019N/mm^2$ , masih berada dibawah nilai tegangan lengkung maksimal sebesar 7,284 N/mm<sup>2</sup>. Nilai defleksi  $3,63712 \times 10^{-4}$  mm relatif kecil, komponen *rainforcement* dari *cover base* depan dan *cover base* belakang dapat memperkuat konstruksi *base*. Motor *stepper nema 17* yang digunakan memiliki torsi 0,73 Nmm dengan kemampuan maksimal massa angkat sebesar 4,474 kg. Nilai maksimal massa dari perhitungan relatif cukup untuk menggerakkan aktuator dengan berat maksimal 2,86 kg. Maka penggunaan motor *stepper nema 17* tetap memenuhi kebutuhan sebagai torsi penggerak sumbu. Desain *base* mesin dilengkapi fitur tombol *emergency stop* yang akan menunjang keamanan dan memutus arus listrik untuk menghentikan pergerakan aktuator dan *spindel* saat keadaan darurat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agus Kurniawan, S.T. *Teknik Manufaktur Milling*. ATMI PRESS SOLO, Surakarta.
- Ant. Suroto. *Strength of Material*. ATMI PRESS SOLO, Surakarta.
- Arthur (2017). *Smoothieware*. Diakses dari <http://smoothieware.org/smoothieboard>, 18 Desember 2019
- B. Sudiby, Ing. HTL. *Kekuatan dan Tegangan Ijin*. ATMI PRESS SOLO, Surakarta.
- Bill Earl. *All About Stepper Motors*. Diakses dari <https://www.learn.adafruit.com/all-about-stepper-motors/what-is-a-stepper-motor>, 20 November 2019.
- Darko Saric Lukendic. *SFU1204-300 With Nut*. Diakses dari <http://www.grabcad.com/library/sfu1204-300-with-nut-1>, 10 November 2019.
- Hasanain Shuja. *MGN12 Linier Guide Subassembly configurable rail length from 100mm to 200mm in increments of 50mm 1*. Diakses dari <https://www.grabcad.com/library/MGN12-Linier-Guide-Subassembly-configurable-rail-length-from-100mm-to-200mm-in-increments-of-50mm-1>, 19 november 2019.
- Montymintypie. *RepRap Discount Full Graphic Smart Controller*. Diakses dari [https://www.reprap.org/wiki/RepRapDiscount Full Graphic Smart Controller](https://www.reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Full_Graphic_Smart_Controller), 10 November 2019.
- Oriental Motor General Catalog (2018). USA**
- S. Avrutin. *Fundamentals of Milling Practice*. FOREIGN LANGUAGES PUBLISHING HOUSE MOSCOW.
- Suroso. 2015. *RANCANG BANGUN SISTEM MEKANIK DUA AXIS BERBASIS KENDALI ARDUINO UNTUK PERAGA PRAKTIKUM*. Diakses dari <http://repo-nkm.batan.go.id/6253/1/Rancang%20Bangun%20Sistem%20Mekanik%20Dua%20Axis%20Berdasarkan%20Kendali%20Arduino%20Untuk%20Peraga%20Praktikum.pdf>, 18 Desember
- Tim Dobot (2018). *Dobot Mooz*. Diakses dari <https://www.dobot.cc/products/mooz-specification.html>, 20 november 2019.
- Tim Snapmaker (2018). *Sanpmaker 3-in-1 3D Printer*. Diakses dari <https://www.snapmaker.com/spec>, 20 november 2019.