

Proses Produksi Prototipe Mesin CNC Router 3-axis

Zoro Zulfikar¹ dan Syafri²

Laboratorium Teknologi Produksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

¹zoro.zulfikar@yahoo.com, ²prie_00m022@yahoo.com

ABSTRACT

Productivity of small industry in Indonesia might be one of the causes of lacking of capital for the procurement of modern machine tools such as CNC (Computer Numerical Control). The purpose of this research is to make the mechanical components of CNC machine and assemble that to produce machine with cheapest prices. Therefore, the machine selling price can be reached by small industry actors. In this research, all mechanical components was made using machining process and was assembled, which using the finished components that can already be found on the market. The machining process included milling, drilling, grinding, sawing and tapping. Engine components to be assembled including of the frame, liner guide, transmission system and drive system in order to form a perfect CNC machine. Joining system of such machine components used a permanent joining such as welding, and temporary joining using bolts. The assembly also used an exchangeable assembly method, so that faster component assembly time and in replacement of damaged components that can be replaced with similar components on the market.

Keywords: Prototype, CNC, Router, Machining, Joining, Assembly

1. Pendahuluan

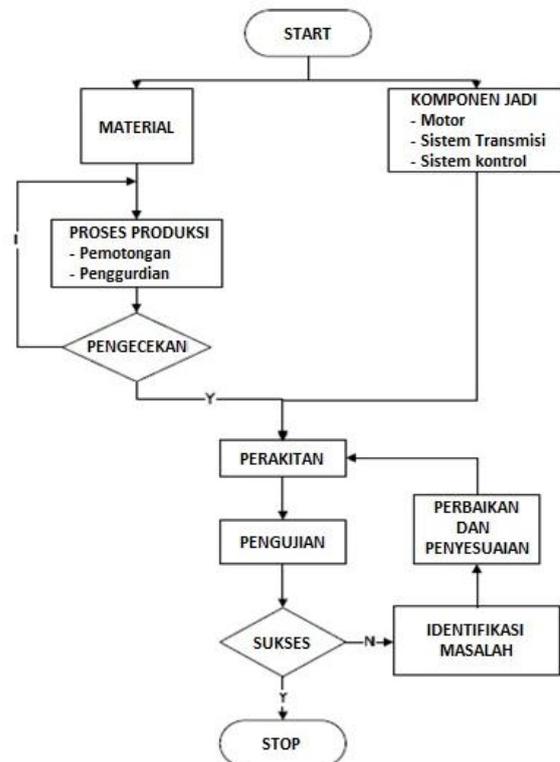
Salah satu penyebab produktifitas industri manufaktur pada UKM (Usaha Kecil dan Menengah) di Indonesia dikarenakan proses produksi yang dilakukan masih dilakukan secara manual oleh tangan manusia. Dengan pengadaan mesin perkakas modern seperti mesin *Computer Numerical Control* (CNC) diharapkan pelaku UKM mampu memproduksi produk-produk dengan geometri khusus dengan ketelitian yang tinggi, meningkatkan efisiensi proses produksi serta meningkatkan kualitas hasil produksi sehingga tidak akan kalah bersaing dengan produk-produk impor yang berasal dari berbagai negara.

Pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau, telah ada penelitian mengenai "Perancangan dan Analisis Struktur Mekanik Prototipe Mesin CNC Milling 3-axis" [4]. Perancangan ini difokuskan untuk membuat mesin CNC dengan biaya murah agar harga jual mesin terjangkau oleh pelaku UKM. Maka dari itu, sangat diperlukan sebuah penelitian untuk dapat memproduksi mesin CNC dengan spesifikasi tersebut.

Penelitian ini difokuskan pada pembuatan komponen-komponen mekanik serta perakitan komponen-komponen tersebut dengan komponen jadi yang telah tersedia di pasaran, sehingga terbentuklah konstruksi prototipe Mesin CNC yang dapat bergerak pada setiap sumbu pergerakannya.

2. Metodologi

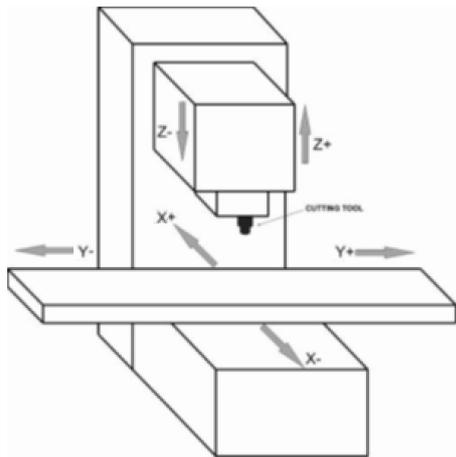
Seluruh kegiatan pembuatan dan perakitan meliputi (a) Identifikasi masalah dan penetapan parameter desain (b) Proses pemotongan bahan, proses pembuatan rangka dan proses perakitan komponen-komponen Mesin CNC. Diagram alirnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Produksi Prototipe Mesin CNC Router 3-axis.

2.1. Mesin CNC Milling

Mesin CNC *milling* merupakan pengembangan dari mesin *milling* konvensional. Pada awalnya mesin CNC *milling* terdiri dari 3 sumbu yaitu XYZ yang bisa membuat produk secara 3D. Dengan berkembangnya teknologi, sumbu mesin CNC *milling* sudah mencapai 5 sumbu sehingga dapat membuat produk dengan kerumitan yang tinggi [5]. Adapun bentuk dari orientasi sumbu pada mesin CNC *milling* dapat dilihat pada Gambar 2.



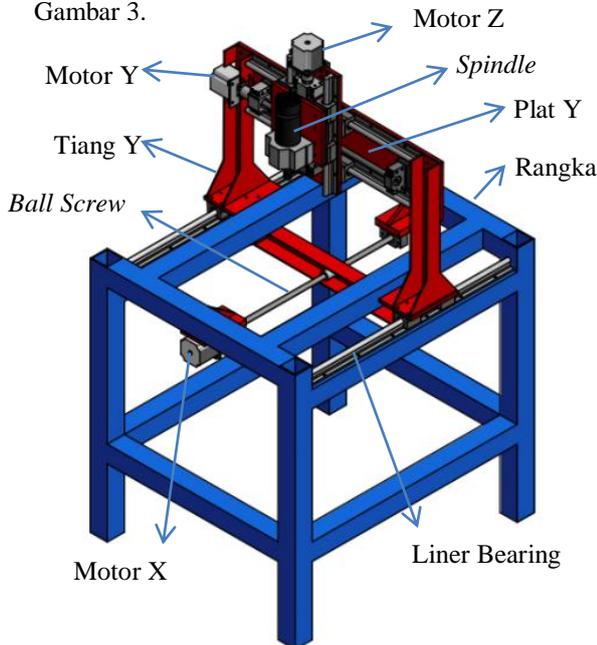
Gambar 2. Orientasi Sumbu pada CNC Milling

Fungsi dari tiap sumbu dari mesin CNC milling adalah sumbu XY berfungsi untuk menggerakkan meja searah dengan sumbu X dan Y sesuai dengan sistem koordinat kartesius dengan koordinat awal (X 0.000, Y 0.000, Z 0.000). Koordinat X+ menunjukkan arah spindle bergerak ke arah kanan dari sumbu X.

Pergerakan dari sumbu X atau Y berfungsi untuk menghasilkan gerakan yang linier sesuai dengan arah sumbu tersebut, sedangkan kombinasi dari pergerakan sumbu X dan Y akan menghasilkan gerakan berbentuk parabolik. Sumbu Z berfungsi untuk menggerakkan tool naik (Z+) dan turun (Z-) atau berfungsi sebagai pengatur kedalaman makan dari proses pemesinan tersebut [3].

2.2. Konsep Desain

Berdasarkan desain mesin yang telah dirancang [4], dihasilkan gambar teknik seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konsep desain prototipe mesin CNC milling 3-axis [3].

Dari rancangan yang telah dibuat didapatkan beberapa profil batang serta dimensi yang dibutuhkan untuk membuat prototipe mesin CNC milling 3-axis ini. Profil batang yang digunakan berbeda-beda, hal ini disesuaikan dengan beban yang bekerja. Pada pergerakan sumbu Y dan sumbu Z digunakan batang berjenis plat karena pada bagian ini akan diletakkan komponen pendukung lainnya seperti rel untuk liner bearing, screw dan ball screw serta motor untuk memutar screw.

Batang jenis plat juga dipilih karena plat mampu menahan beban dari segala arah yang disebabkan oleh berat beban komponen yang ditahannya secara vertikal dan beban pergerakan spindle saat mesin dijalankan secara horizontal. Pada bagian rangka penopang mesin digunakan profil kotak. Profil kotak dipilih karena beban yang terjadi pada bagian ini lebih besar dalam arah vertikal. Profil kotak mampu menahan beban lebih besar pada arah vertikal karena mempunyai inersia penampang yang besar sehingga mampu menahan beban lebih besar pada arah vertikal. Profil batang lain yang digunakan dalam mesin ini adalah profil U [4].

2.3. Material

Berdasarkan hasil rancangan [4], untuk pemilihan material yang digunakan dalam proses produksi didasarkan kepada ketersediaan pasar yang tinggi. Selain itu pemilihan material juga didasarkan pada beban dan kebutuhan yang bekerja pada bagian mesin. Material yang dipilih adalah material stainless steel, hal ini karena stainless steel memiliki kekuatan tarik dan ketangguhan yang tinggi, sehingga rancangan diharapkan tidak mengalami kegagalan selama penggunaannya.

Salah satu jenis stainless steel yang banyak ditemukan dipasaran Indonesia adalah stainless steel grade 201, dan tipe ini memiliki profil yang sesuai dengan gambar rancangan yang dibuat. Stainless steel grade 201 memiliki sifat-sifat yang diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Fisik dan Mekanik Stainless Steel grade 201

Properties	Metric	Imperial
Density	7,85 g/cm ³	0,284 lb/in ³
Tensile Strength, Ultimate	685 MPa	99400 Psi
Tensile Strength, Yield	292 MPa	42400 Psi
Elastic modulus	197 GPa	28573 ksi
Poisson's ratio	0,27-0,30	0,27-0,30
Hardness, Rockwell	85	85
Thermal conductivity	16,3 W/mK	9,22 BTU in/hr.ft ² .°F

Berikut ini adalah profil serta ukuran material yang dibutuhkan untuk memproduksi mesin seperti yang ditampilkan Tabel 2.

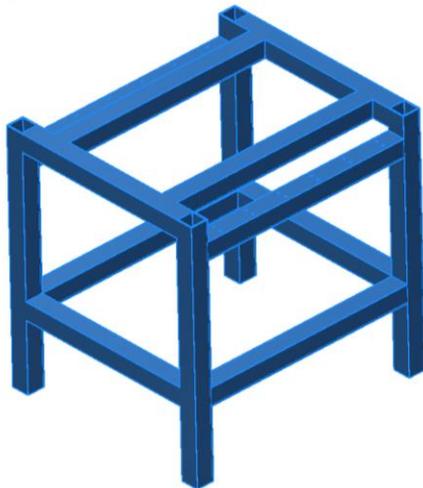
Tabel 2. Tabel Kebutuhan untuk rancangan mesin

Profil dan dimensi	Panjang
Profil kotak	7,2 m
50x50x3 mm	(7200 mm)
Profil U	1,12 m
50x50x3 mm	(1120 mm)
Profil L	0,24 m
50x50x5 mm	(240 mm)
Pelat baja	0,2 m ²
8 mm	(203220 mm ²)

2.4. Komponen CNC Milling

2.4.1. Rangka

Rangka merupakan sistem yang terhubung oleh bagian-bagian yang mendukung ataupun menyalurkan gaya dan menahan beban yang bekerja pada sistem. Dalam analisis gaya dibutuhkan pemisah bagian-bagian dari struktur untuk dapat menganalisisnya dengan diagram benda bebas yang terpisah ataupun kombinasi dari bagian struktur untuk mengetahui gaya dalam yang terjadi pada struktur [2]. Contoh bentuk rangka dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Rangka

2.4.2. Liner Guide

Liner guide adalah sebuah elemen yang berfungsi untuk jalur pergerakan dan berfungsi untuk mengurangi gaya gesek antara dua komponen yang saling bergesekan. Pada pembuatan mesin CNC ini *liner guide* yang digunakan adalah jenis *Liner Bearing*.

Liner bearing merupakan elemen luncur dengan memanfaatkan bantalan-bantalan bola yang menggelinding agar mempermudah pergerakan, mengurangi gesekan dan memperpanjang umur pakai mesin [2]. Kontruksi dari *liner bearing* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Liner Bearing

2.4.3. Sistem Transmisi

Transmisi merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah atau menyalurkan keluaran dari aktuator. Pada mesin CNC aktuator yang digunakan adalah motor. Sistem transmisi yang digunakan pada pembuatan mesin CNC ini adalah tipe *Ball Screw*

Ball screw merupakan komponen mekanis yang berfungsi pengubah gerakan rotasi menjadi transversal dengan memanfaatkan gaya tekan akibat perputaran pada ulir. Prinsipnya sama seperti pasangan mur dan baut biasa, ketika mur (*nut*) berputar maka akan mendapatkan pergerakan linear dari bautnya (*bolt*). Tetapi yang membedakannya adalah diantara *nut* dan *bolt* terdapat *ball* (*gotri*) fungsinya untuk mengurangi koefisien gesek hal ini dapat dilihat pada Gambar 6. *Ball screw* memiliki ketelitian sampai dengan 1 mikrometer [2].



Gambar 6. Ball Screw

2.4.4. Komponen Elektronik

Komponen elektronik pada sistem kontrol mesin CNC merupakan perangkat keras (peralatan) yang digunakan dalam sistem kontrol mesin CNC 3-axis. Peralatan tersebut selanjutnya akan dirangkai sedemikian rupa sehingga membentuk rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai penggerak sekaligus pengatur perpindahan sumbu serta spindel mesin CNC.

Pemilihan komponen sistem kontrol sangat mempengaruhi kinerja dari mesin. Dalam perancangan mesin CNC ini ada beberapa komponen penting dari mesin yang perlu diperhatikan.

Adapun beberapa komponen elektronik yang digunakan pada mesin CNC ini adalah:

1) Motor Stepper

Motor stepper merupakan salah satu jenis motor yang banyak digunakan saat ini sebagai aktuator, misalnya sebagai penggerak *head* baca/tulis pada *disk drive* yang akan menetapkan posisi *head* baca/tulis di atas permukaan piringan disket, penggerak *head*

pada printer dan *line feed control*, dan yang lebih populer saat ini adalah aplikasi dalam bidang robotik. Dengan bantuan *microprocessor* atau *mikrokontroler*, perputaran motor dapat dikontrol dengan tepat dan terprogram [2].



Gambar 7. Motor Stepper

2) *Motor Driver*

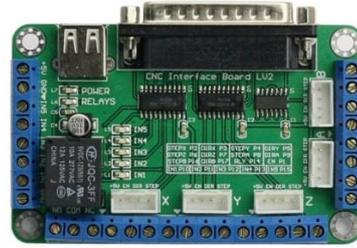
Motor driver merupakan komponen yang berfungsi untuk mengkomunikasikan antara *controler* dengan aktuator serta memperkuat sinyal keluaran dari *controler* sehingga dapat dibaca oleh aktuator [2]. Dalam perancangan elemen kontrol ini *motor driver* yang akan digunakan adalah *Board TB6560* untuk mesin CNC 3-axis. Bentuk fisik daripada *Board TB6560* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Motor Driver Board TB6560

3) *Breakout Board*

Breakout Board (BOB) merupakan papan elektronik yang berfungsi menghubungkan sinyal data dari komputer baik *input* maupun *output* kepada aktuator. BOB merupakan komponen utama yang digunakan untuk merakit CNC, menghubungkan sinyal data dari komputer menuju *relay* atau *driver*, serta menghubungkan sinyal *input* dari luar untuk bisa dibaca komputer. BOB menggunakan *parallel port* komputer DB25, bisa bekerja menggunakan *software* Mach3 maupun *software* lain sejenis yang bekerja dengan *parallel port* DB25 [2]. BOB yang akan digunakan untuk perancangan sistem kontrol ini adalah *CNC Interface Board ST-V3* seperti dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. CNC Breakout Board

4) *Power Supply Motor Stepper*

Power supply adalah perangkat yang berfungsi sebagai penyedia utama daya tegangan DC bagi *CNC Controller*, *Motor Stepper*, dan *Tool/Spindle*. Fungsi dasar dari *power supply* adalah merubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Daya yang dihasilkan oleh *power supply* ini dijaga konstan agar memberikan suplai yang optimal bagi *motor* dan *spindle* [2]. *Power supply* yang digunakan pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Power Supply

5) *Limit Switch*

Limit switch merupakan jenis saklar yang dilengkapi dengan katup yang berfungsi menggantikan tombol. Prinsip kerja *limit switch* sama seperti saklar *Push On/Off* yaitu hanya akan terhubung pada saat katupnya ditekan pada batas penekanan tertentu yang telah ditentukan dan akan terputus saat katup tidak ditekan. *Limit switch* termasuk dalam tipe sensor mekanis yaitu sensor yang akan memberikan perubahan elektrik saat terjadi perubahan mekanik pada sensor tersebut. Penerapan dari *limit switch* adalah sebagai sensor posisi suatu benda yang bergerak. Bentuk dari *limit switch* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Sensor Limit Switch

6) *Spindle Kit*

Spindle merupakan bagian dari mesin yang akan menjadi rumah *cutter*. *Spindle* inilah yang mengatur putaran dan pergerakan *cutter/tool* pada sumbu Z. *Spindle* selanjutnya digerakkan oleh motor yang dilengkapi dengan sistem transmisi *belting* atau kopling [1]. Bentuk *spindle* yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12. *Spindle Kit*

3. Hasil

3.1. Pembuatan

Tahapan proses yang dilakukan untuk membuat komponen-komponen mekanik mesin CNC Milling 3-axis ini, yaitu:

1. Pengukuran

Proses pengukuran dilakukan untuk menentukan dimensi material yang akan dipotong sesuai dengan desain mesin. Pengukuran dengan cara pengukuran langsung ini menggunakan alat ukur jangka sorong dan mistar.

2. Proses Penggergajian (*Sawing*)

Sesuai dengan desain hasil rancangan mesin, masing-masing profil material tersebut akan dipotong sesuai dengan dimensi rancangan. Proses penggergajian ini menggunakan mesin *Hack Saw* yang berada di Lab. Produksi Teknik Mesin, Universitas Riau.

3. Proses Gurdi (*Drilling*)

Proses ini ditujukan untuk membuat lubang-lubang yang nantinya akan dilakukan proses *tapping* sebagai tempat baut untuk menyambung komponen mekanik ke komponen jadi yang sebelumnya telah disediakan. Mesin gurdi yang digunakan adalah Mesin Gurdi Vertikal yang berada di Lab. Produksi Teknik Mesin, Universitas Riau.

4. Proses *Tapping*

Proses ini ditujukan agar lubang-lubang yang telah digurdi memiliki ulir sebelah dalam. Ulir ini merupakan tempat peletakan baut pada proses penyambungan sementara. Proses *tapping* ini juga menggunakan ukuran yang berbeda sesuai dengan ukuran baut yang akan digunakan.

5. Proses Penyambungan

Proses penyambungan pada perakitan mesin ini dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1) Penyambungan Permanen

Penyambungan baja yang digunakan menggunakan sistem pengelasan tipe *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) yang berada di Lab. Produksi Teknik Mesin, Universitas Riau. Hampir seluruh komponen mekanik yang dipotong disambung dengan proses pengelasan. Penghubung antara komponen satu dan lainnya menggunakan komponen jadi yang telah disediakan.

2) Penyambungan Sementara

Untuk penyambungan sementara sebagian besar digunakan untuk menghubungkan komponen mekanik dengan komponen jadi. Hal ini dilakukan agar apabila terjadi kerusakan pada komponen jadi, komponen tersebut dapat diganti dengan yang baru sesuai dengan ukuran yang terdapat di pasaran. Penyambungan ini menggunakan beberapa macam baut yang diameter dan panjangnya disesuaikan dengan desain dari mesin tersebut. Selain baut ditambahkan juga *counter mur* dan *ring* pegas untuk mencegah baut terbuka/longgar apabila terjadi getaran pada saat mesin bekerja.

3.2. Perakitan

Metode perakitan yang digunakan adalah Metode perakitan yang dapat ditukar tukar. Pada metode ini, bagian-bagian yang akan dirakit dapat ditukarkan satu sama lain (*interchangeable*), karena bagian tersebut dibuat oleh suatu pabrik secara massal.

Sebelum Mesin CNC ini dirakit, setiap komponen mesin dicat terlebih dahulu untuk mencegah korosi terjadi pada permukaan komponen mesin. Setelah selesai dan cat telah kering barulah komponen – komponen dari mesin CNC dirakit. Langkah - langkah perakitan adalah sebagai berikut:

1. Rel *liner guide* disambung dengan rangka pada bagian kiri dan kanan menggunakan baut, kemudian memasang tiang kedudukan plat sumbu-y bagian kiri dan kanan pada rel *liner guide*.
2. Langkah berikutnya adalah memasang batang penghubung tiang kedudukan plat sumbu-y bagian kiri dan kanan yang merupakan penghubung pergerakan sumbu-x dari motor.
3. Lalu memasang kedudukan motor pergerakan sumbu-x beserta sistem transmisi *ball bearing* yang dihubungkan pada batang penghubung kedudukan plat sumbu-y menggunakan baut.
4. Pasang plat dudukan *liner guide* sumbu-y pada tiang kedudukan menggunakan baut lalu diteruskan dengan memasang *liner guide* pergerakan sumbu-z pada plat tersebut menggunakan baut.

5. Pasangkan kedudukan motor sumbu-y pada tiang bagian kanan tiang kedudukan plat sumbu-y menggunakan baut lalu pasang motor penggerak sumbu-y beserta sistem transmisi *ball bearing* menggunakan baut.
6. Selanjutnya pasang plat dudukan *liner guide* sumbu-z pada tiang kedudukan menggunakan baut lalu diteruskan dengan memasang *liner guide* pergerakan *spindle* pada plat tersebut menggunakan baut.
7. Pasang *spindle* pada plat dudukan tersebut.
8. Lalu tahapan terakhir adalah menghubungkan seluruh motor ke sistem kontrolnya mulai dari *driver control* masing-masing sumbu pergerakan, *break out board*, lalu menuju PC (*Personal Computer*) sebagai sistem *interface* mesin CNC tersebut.

4. Pembahasan

Berdasarkan hasil dari proses produksi mesin serta perakitannya, maka dihasilkan mesin CNC dengan bentuk terlihat seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil Pembuatan dan Perakitan Mesin CNC Router 3-axis

Terdapat sedikit perbedaan dimensi terhadap desain dari perancangan mesin ini. Perbedaan itu terletak pada rangka. Hal ini terjadi karena ketersediaan pasar untuk *stainless steel* profil kotak ukuran 50 mm x 50 mm x 3mm (spesifikasi pasar) tidak sesuai ukurannya pada saat pengukuran langsung dilakukan. Ukuran sebenarnya dari material profil tersebut adalah 48 mm x 48 mm x 3mm. Hal ini menyebabkan terdapat perbedaan dimensi rangka terhadap desain rancangan mesin sebelumnya. Maka, sebaiknya dilakukan pengujian lanjutan mengenai pengaruh perbedaan dimensi yang berbeda dengan desain rancangan terhadap kinerja mesin tersebut.

5. Simpulan

1. Telah diperoleh hasil produksi komponen mekanik yang diproduksi menggunakan proses pemesinan, yang terdiri atas: rangka, kedudukan sistem transmisi, kedudukan motor, dan kedudukan *spindle*.
2. Berdasarkan bentuk rancangan yang telah dibuat, selanjutnya komponen mekanik yang telah diproduksi akan dirakit dengan komponen jadi yang telah tersedia dipasaran.
3. Mesin dapat bergerak pada masing-masing sumbu pergerakan, yaitu sumbu X, Y dan Z, namun perlu dilakukan kalibrasi pada sistem kontrol agar panjang langkah pergerakan mesin sesuai dengan kode pergerakan yang diinput pada sistem *interface* (PC).
4. Berdasarkan hasil pengukuran setelah mesin diproduksi, maka didapatkan area kerja mesin ini adalah:
 - Panjang area kerja sumbu-x= 390 mm
 - Panjang area kerja sumbu-y= 340 mm
 - Panjang area kerja sumbu-z= 96 mm
5. Total biaya yang dibutuhkan untuk membuat serta merakit mesin CNC ini adalah Rp 13.211.000. Merujuk pada website *alibaba.com* yang merupakan salah satu situs jual beli internasional terbesar, harga mesin CNC dengan spesifikasi yang sama berkisar antara \$3.500 - \$10.000, jika dalam Rupiah (*rate* \$1 = Rp 13.300) yaitu Rp 46,5 juta - Rp 133 juta. Maka mesin ini dibuat dengan harga lebih murah dibandingkan dengan harga mesin dipasaran.

Daftar Pustaka

- [1] Harrizal, I.S. 2017. Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System. *Skripsi. Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik, Universitas Riau*. 4 (2): 1-4.
- [2] Islami, F. 2013. Rancang Bangun Prototype Mesin CNC. *Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang*.
- [3] Khan, L.A. 2014. Design and Fabrication of a CNC Machine for Engraving and Drilling. *International Interdisciplinary Journal of Scientific Research*. 1 (3): 1-6.
- [4] Naldy, D. 2016. Perancangan dan Analisis Struktur Mekanik Prototipe Mesin CNC Milling 3-axis. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik, Universitas Riau*. 3 (2): 1-5.
- [5] Kuspriyanto dan H. Seputro. 2014. Mesin CNC. *Jurnal Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung*. 46A (1): 1-6.