

## Perancangan dan Analisis Struktur Mekanik Prototipe Mesin CNC Milling 3-Axis

Devri Naldy<sup>1</sup>, Syafri<sup>2</sup>, Mustafa Akbar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

<sup>3</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email : devrinaldy08@gmail.com

### ABSTRACT

*Computer Numerically Controlled (CNC) Machine is a machine tool equipped with mechanical systems and computer-based controls that capable to read the instruction code such as N, G, F, T, etc. These codes will be instructed to CNC machine interface system, so that the machine can work in accordance with the listing program that has been created. In general, the selling price of the machine is expensive. Therefore, in this study a low cost CNC machine has been designed for small and medium enterprises (UKM). Design stage consist of a needs analysis, preparation of the technical specifications of the product, design concept of the product to find alternative concept product and choose the concept product. From design concept to be developed do static analysis on mechanical components CNC machines that include stress and deformation due to loading and its own weight. Static analysis is conducted in two ways, with manual calculations and finite element analysis using software Autodesk Inventor 2012 Student Edition. Results of static analysis shows that stress occurs at 7.122 MPa on the z-axis, 72.31 MPa on the y-axis and 2,202 MPa on the x-axis. Deformation is equal to 0.003644 mm on the z-axis, 0.5404 mm on the y-axis and 0.005173 mm on the x-axis.*

**Keyword :** CNC Machine, Autodesk Inventor, stress, deformation

### 1. Pendahuluan

Dewasa ini, kegiatan impor masih jadi andalan pemerintah Indonesia dalam memenuhi kebutuhan dalam negeri. Berdasarkan laporan Badan Pusat Statistik (BPS) periode bulan November 2015 ditunjukkan bahwa selama tahun 2015 pemerintah Indonesia telah melakukan impor non migas sebesar USD 88.530.000.000 [1]. Sebagian dari nilai impor tersebut digunakan untuk pengadaan peralatan produksi serta peralatan angkut yang digunakan di tanah air. Tingginya nilai impor non migas tersebut disebabkan oleh rendahnya daya saing industri manufaktur dalam memproduksi barang untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, terutama industri kecil dan menengah (UKM).

Salah satu kelemahan UKM yang berbasis produksi manufaktur adalah rendahnya kemampuan dalam menghasilkan produk yang memiliki kontur yang rumit serta memiliki tingkat kepresisian tinggi. Hal ini disebabkan karena sebagian UKM masih menggunakan mesin konvensional sebagai alat produksinya. Sebagaimana diketahui bahwa mesin perkakas konvensional mempunyai keterbatasan derajat kebebasan, sehingga tidak memungkinkan untuk membuat produk yang memiliki kontur tertentu.

Untuk meningkatkan kemampuan produksinya, UKM dituntut agar menggunakan mesin kontrol numerik dalam proses produksinya.

Supaya berbagai spek permintaan konsumen dapat dipenuhi dengan baik. Namun dalam realisasinya, pengadaan mesin perkakas kontrol numerik bukanlah hal yang mudah, karena pengadaan mesin tersebut membutuhkan biaya yang cukup besar, sehingga dirasa sangat memberatkan untuk bidang usaha sekelas UKM. Berdasarkan kondisi tersebut maka perlu dilakukan sebuah penelitian dalam merancang dan membuat mesin perkakas kontrol numerik dengan biaya murah yang nantinya dapat digunakan untuk UKM yang ada di tanah air.

Pada penelitian sebelumnya, telah dirancang mesin kontrol numerik untuk pembuatan PCB [2] dan untuk pengerjaan ukiran dengan material kayu [3].

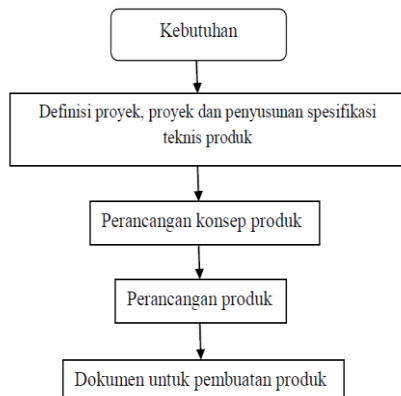
Pada penelitian ini dirancang sistem mekanik mesin kontrol numerik untuk pengerjaan material aluminium yang terdiri dari komponen-komponen utama seperti rangka, X-axis, Y-axis, dan Z-axis.

### 2. Metode

#### 2.1 Perancangan

Tahapan perancangan merupakan tahapan-tahapan dalam melakukan desain agar mendapatkan produk yang sesuai keinginan dan kegunaannya. Proses perancangan dilakukan berdasarkan perancangan deskriptif french, proses ini terdapat lima langkah utama, yaitu dengan menjabarkan

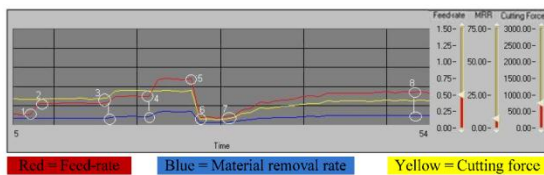
kebutuhan, defenisi proyek, perancangan konsep produk, perancangan konsep produk serta dokumen untuk pembuatan produk [4].



Gambar 2.1 Tahapan Perancangan

## 2.2 Analisis Struktur Dengan Perhitungan Manual

Analisis struktur dimulai dengan menentukan gaya yang bekerja pada struktur. Terdapat dua gaya yang bekerja pada struktur, yaitu gaya karena gaya pemotongan dan gaya karena berat sendiri [5]. Besar gaya pemotongan yang terjadi ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Nilai Gaya Potong Aluminium

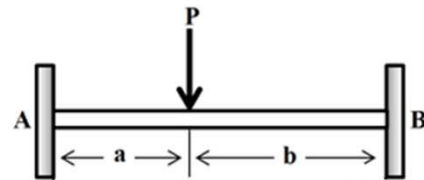
Setelah menentukan gaya yang bekerja, maka langkah selanjutnya adalah menentukan tegangan maksimum yang terjadi dengan menggunakan persamaan [6] :

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

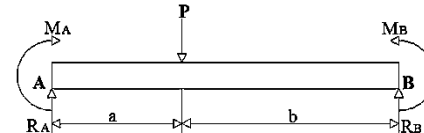
Dimana:

- $\sigma_{max}$  = Tegangan maksimum ( $N/m^2$ )
- $\sigma_x$  = Tegangan pada arah sumbu-x ( $N/m^2$ )
- $\sigma_y$  = Tegangan pada arah sumbu-y ( $N/m^2$ )
- $\tau_{xy}$  = Tegangan geser pada bidang xy ( $N/m^2$ )

Defleksi yang terjadi pada batang dipengaruhi oleh bentuk batang, pembebanan dan material batang [6]. Gambar 2.3 menunjukkan suatu batang dengan 2 tumpuan jepit sebagai tumpuannya.

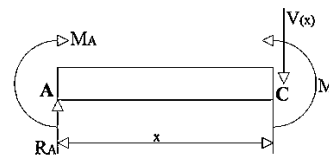


Gambar 2.3 Batang Dengan 2 Tumpuan Jepit  
Diagram benda bebas dari batang tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Benda Bebas Batang Dengan 2 Tumpuan Jepit

Selanjutnya kita gambarkan diagram benda bebas bagian potongan batang AC pada panjang x adalah  $0 \leq x \leq a$ , seperti yang diperlihatkan Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram Benda Bebas Batang AC

Dari gambar diatas dapat ditentukan nilai M, yaitu

$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_A + R_A x$$

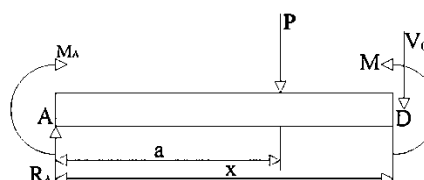
$$EI \frac{dy}{dx} = M_A x + \frac{1}{2} R_A x^2 + c_1$$

$$EI y = \frac{1}{2} M_A x^2 + \frac{1}{6} R_A x^3 + c_1 x + c_2$$

Dimana:

- $M$  = Momen bending (N.m)
- $E$  = Modulus elastisitas (Gpa)
- $I$  = Momem inersia ( $m^4$ )
- $R_A$  = Reaksi tumpuan pada titik A (N)
- $y$  = Deformasi yang terjadi (mm)

Selanjutnya gambarkan diagram benda bebas bagian potongan AD pada panjang x adalah  $a \leq x \leq L$ , seperti yang diperlihatkan Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram Benda Bebas Batang AD

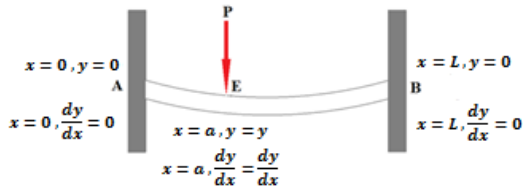
Dari gambar diatas dapat ditentukan nilai M, yaitu

$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_A + R_A x - P(x - a)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = M_A x + \frac{1}{2} R_A x^2 - \frac{1}{2} P(x - a)^2 + c_3$$

$$EI y = \frac{1}{2} M_A x^2 + \frac{1}{6} R_A x^3 - \frac{1}{6} P(x - a)^3 + c_3 x + c_4$$

Selanjutnya tetapkan kondisi batas yang terjadi pada batang, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kodisi Batas

Dengan memasukkan kondisi batas tersebut ke persamaan untuk potongan AC dan AD, maka didapatkan nilai :

$$M_A = -\frac{Pab^2}{L^2}$$

$$M_B = -\frac{Pba^2}{L^2}$$

$$R_A = \frac{Pb^2(3a + b)}{L^3}$$

$$R_B = \frac{Pa^2(3b + a)}{L^3}$$

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{2} M_A a^2 + \frac{1}{6} R_A a^3 \right)$$

### 2.3 Analisis Elemen hingga

Analisis elemen hingga dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Autodesk Inventor 2012. Adapun langkah-langkah analisis tersebut adalah sebagai berikut [7] :

1. Pemilihan material
2. Proses *meshing*
3. Penetapan *constraint*
4. Penetapan beban
5. Jalankan simulasi program

## 3. Hasil

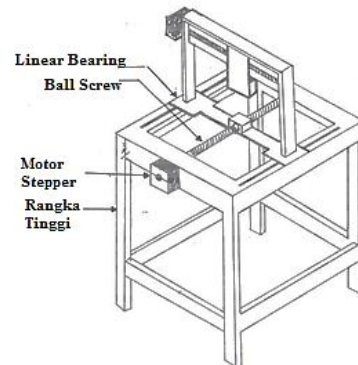
### 3.1 Perancangan

Perancangan dilakukan berdasarkan diagram alir pada Gambar 2.1. Perancangan dimulai dengan menentukan beberapa kriteria desain yang diinginkan yaitu :

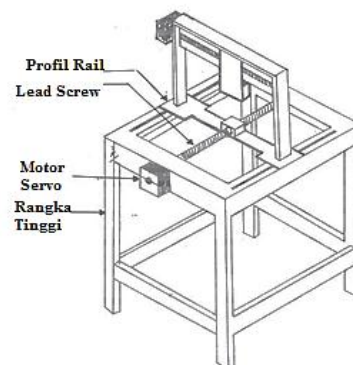
1. Aman.
2. Ketelitian yang tinggi.
3. Mudah perawatan.
4. Mudah dalam penggunaannya..
5. Dimensinya proporsional.

6. Harga relatif murah.
7. *Spare part* mudah didapat.

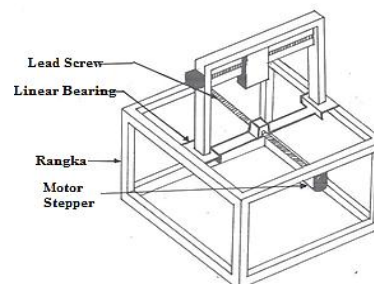
Berdasarkan kriteria tersebut bisa didapatkan beberapa konsep desain yang akan dikembangkan seperti yang diperlihatkan Gambar 3.1.



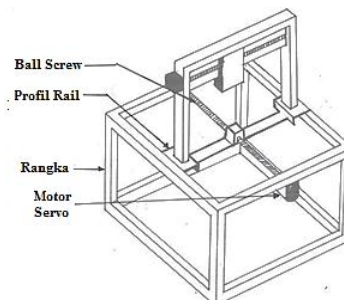
Konsep 1



Konsep 2



Konsep 3



Konsep 4

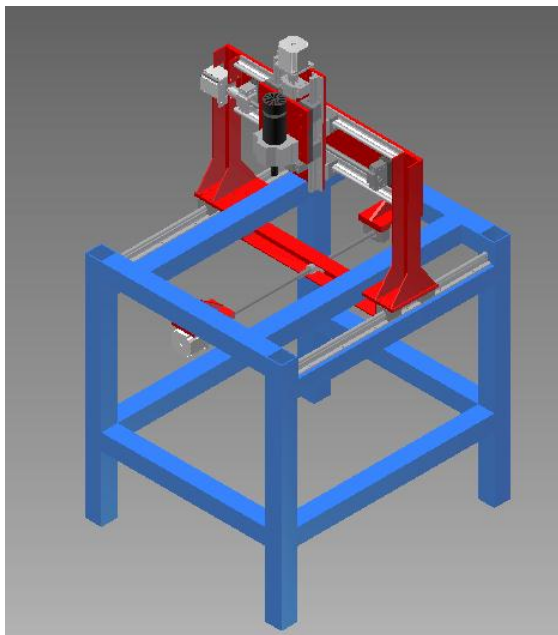
Gambar 3.1 Konsep desain prototipe mesin CNC *milling 3 axis*

Langkah berikutnya adalah pemilihan konsep desain yang paling baik berdasarkan keinginan pengguna menggunakan matrik morfologi dengan cara memberi bobot untuk tiap-tiap konsep seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Matrik Pengambilan Keputusan Konsep Rancangan

No	Kriteria seleksi	bobot	Konsep			
			1	2	3	4
1	Keamanan dalam pengoperasian	10	+	+	-	-
2	Ketelitian yang tinggi	10	+	-	-	+
3	Kuat dan tahan lama	7	+	+	+	+
4	Komponen tidak banyak	6	-	-	+	+
5	Biaya material murah	7	-	-	+	+
6	Biaya pembuatan	9	+	-	+	-
7	Ringan	6	-	-	+	+
8	Pengoperasian murah	9	+	+	-	-
9	Kemungkinan dimassalkan	8	+	+	+	+
Total +			6	4	6	6
Total -			3	5	3	3
Total keseluruhan bobot			53	34	43	44

Dari matrik pengambil keputusan maka konsep produk yang memiliki skor tertinggi adalah konsep produk 1. Sehingga konsep inilah yang akan dikembangkan selanjutnya menjadi prototipe mesin CNC *Milling 3 axis*. Konsep yang telah dipilih, yaitu konsep 1 selanjutnya akan diberi bentuk menjadi pembuatan prototipe mesin CNC *milling 3 axis* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Konsep desain prototipe mesin CNC *milling 3 axis*

### 3.2 Analisis Struktur

Berdasarkan diagram alir untuk perhitungan manual dan analisis elemen hingga, maka didapatkan hasil analisis struktur seperti yang diperlihatkan Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Analisis Struktur

No	Hasil Analisis	Bagian Yang Dianalisis		
		Sumbu-z	Sumbu-y	Sumbu-x
1	Perhitungan Manual	0,00314	0,371	0,00252
	Displacement Analisis Elemen Hingga	0,003644	0,5404	0,005173
	% Error	13,83 %	31 %	51 %
2	Perhitungan Manual	6,58	56,26	2,13
	Tegangan Analisis Elemen Hingga	7,122	72,31	2,202
	% Error	7,61 %	22 %	3,3 %
3	Perhitungan Manual	45	5,19	141
	Safety Factor Analisis Elemen Hingga	15	5,06	15
	% Error	66,67 %	2,5 %	89 %

### 4. Pembahasan

Berdasarkan Tabel 3.2 dapat dilihat adanya perbedaan antara perhitungan manual dengan analisa elemen hingga. Perbedaan ini dapat dilihat disemua elemen yang dianalisis. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai momen inersia pada perhitungan manual dengan analisis elemen hingga. Pada perhitungan manual, pelat dianggap solid dan dianggap tidak ada lubang-lubang kecil untuk baut sehingga nilai momen inersianya akan lebih besar dari analisis elemen hingga yang analisisnya menggunakan kondisi sebenarnya dari pelat. Perbedaan hasil perhitungan juga disebabkan oleh pembulatan nilai desimal yang dilakukan pada perhitungan manual, sehingga hasil perhitungannya tidak begitu akurat.

Berdasarkan Tabel 3.2 juga dapat dilihat nilai *safety factor* untuk elemen yang dianalisis, nilai *safety factor* minimum dari hasil rancangan terdapat pada pelat sumbu-y dengan nilai 5,06. Hal ini menunjukkan bahwa hasil rancangan aman untuk digunakan karena nilai *safety factor* yang didapat besar dari 1.

## 5. Simpulan

Dari hasil perancangan dan analisis statik mesin CNC *milling 3-axis* dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil perancangan didapatkan desain rancangan dengan spesifikasi sebagai berikut :
  - a. Ukuran mesin panjang 700mm x lebar 600 mm x tinggi 1227 mm.
  - b. Struktur rangka menggunakan baja hollow 50 mm x 50 mm x 3 mm.
  - c. Komponen *y-axis* dan *z-axis* menggunakan pelat baja dengan ketebalan 8mm.
2. Dari hasil analisis tegangan dan deformasi didapatkan kesimpulan bahwa konsep rancangan masih dalam batas aman yang diijinkan dalam pemodelan beban seperti yang ditetapkan.

## Daftar Pustaka

- [1] BPS. 2015. Nilai Ekspor dan Impor Indonesia. <http://www.bps.go.id/publikasi> (diakses tanggal 2 desember 2015)
- [2] Kurniawan Pradana, Dityo. 2011. Rancang Bangun CNC Milling Machineone Made untuk Membuat PCB. *Jurnal Teknik Udayana Vol 10 No 1*.
- [3] Islami, Fadli. 2013. *Rancang Bangun Prototype Mesin CNC*. Skripsi. Program Studi Sarjana Teknik Mesin Universitas Andalas Padang.
- [4] Harsokoesoemo, Darmawan. 2004. *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk) Edisi II*. Bandung: ITB.
- [5] Ridwan, Firman. 2011. "STEP-NC Enable Machine Condition Monitoring". Tesis Doctor. Program Studi Doctor Teknik Mesin University of Auckland.
- [6] Liong, The Houw dan Nainggolan. 1987. *Mechanic for Engineers: Statics and Dynamic, fourth edition*. Oleh Ferdinand P. Beer and E. Russell Johnston, Jr. Jakarta: Erlangga.
- [7] Alchazin, Syaipul A.B. 2011. *Modul Training Autodesk Inventor 2011*. Bogor: Lapan Pusat Teknologi Roket Rumpin.