

PERANCANGAN DAN REALISASI MESIN CNC ROUTER 3- AXIS UNTUK AKRILIK BERBASIS MACH 3 DENGAN KONSTRUKSI SHEET METAL

**Alexander Rio Pulasthama¹, Gregorius Dwi Setya Kotten²,
Widayaka Putera Bagaskara Hadisasono³, FX. Seto Agung Riyanto⁴.**

Program Studi Teknik Perancangan Mekanik dan Mesin, Politeknik ATMI Surakarta
Jl. Adisucipto Km 9,5, Blulukan, Colomadu, Surakarta.

*Email: alexanderastama@gmail.com, bangkotten@gmail.com, bwidayaka@gmail.com,
seto.riyanto@gmail.com

Abstrak

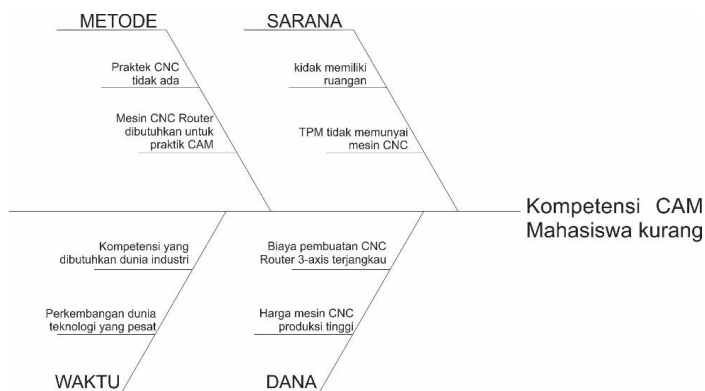
Mesin CNC Router 3-Axis digunakan untuk membuat ukiran atau tulisan dan bentuk dengan memotong akrilik. Mesin CNC Router 3-Axis menggunakan konstruksi sheet metal. Input utama mesin adalah lembaran akrilik dan G-Code. Mesin terdiri dari bed mesin, 1 hand router, dan 3 sumbu; yaitu sumbu x, sumbu y, dan sumbu z. Proses dimulai saat operator membuat gambar desain pada aplikasi Solidworks, lalu mengenerate G-Code dari fitur SolidCAM. Setelah mengenerate G-Code dilanjutkan dengan mengatur ke 3 sumbu ke posisi 0 atau posisi homing. Proses selanjutnya adalah memasukkan G-Code ke program MACH3 Loader. Proses selanjutnya yaitu memasang benda kerja ke bed mesin dengan menggunakan clamp, lalu dilanjutkan dengan menentukan zero point dari benda kerja. Proses selanjutnya adalah menyalakan hand router melalui control panel dan dilanjutkan dengan melakukan proses routing dengan menekan tombol cycle start supaya program mulai membaca g-code yang telah diinput. Output dari mesin ini berupa produk akrilik yang sesuai dengan desain. Hasil dari penelitian adalah rancangan mesin mampu direalisasikan dan mesin yang telah dirancang mampu untuk memotong material akrilik dengan ketebalan 11 mm.

Kata kunci: Akrilik, CNC Router, Mach 3, Routing, Solid cam

1. PENDAHULUAN

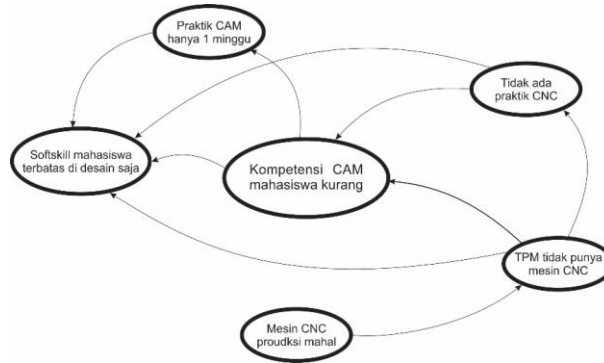
Laboratorium Perancangan 3 (PRC 3) adalah salah satu laboratorium di Politeknik ATMI yang dimiliki program studi TPM dan TRPM. Di laboratorium PRC 3 inilah praktik *section CAM* bagi mahasiswa/i TPM dan TRPM tingkat 3 berlangsung. Kegiatan praktik *section CAM* pada mulanya hanya meliputi pengenalan *software CAM* dan proses desain melalui *software Solidworks*. Namun kompetensi mahasiswa/i tingkat 3 program studi TPM dan TRPM di praktik *section CAM* perlu ditingkatkan. Maka dari itu diperlukan suatu alat peraga untuk *section CAM* berupa mesin *CNC Router*.

Diagram *fishbone* di bawah menjelaskan tentang sebab-akibat tentang kompetensi mahasiswa mengenai dibagi menjadi 4 sub yaitu Metode, Sarana, Dana dan Waktu.



Gambar 1 Diagram *Fishbone*

Berdasarkan dari diagram sebab akibat, dapat dibuat diagram keterkaitan untuk memperlihatkan seberapa penting perancangan mesin yang akan dibuat. Diagram keterkaitan tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 2 Diagram Keterkaitan

Berdasarkan diagram di atas, dapat dijelaskan terdapat beberapa permasalahan yang timbul, setelah analisis melalui diagram *fishbone* dan dilanjutkan melalui diagram keterkaitan dapat disimpulkan bahwa permasalahan utama *customer* adalah program studi Teknik Perancangan Mekanik tidak memiliki mesin CNC.

1.1. Spesifikasi Input

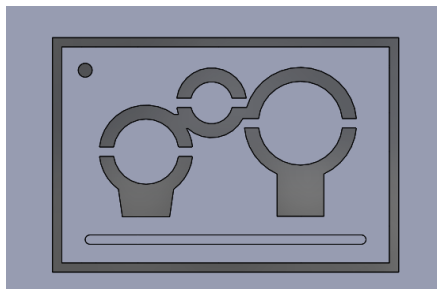
Di bawah ini akan dijelaskan apa saja yang akan menjadi input dari mesin CNC Router sekaligus dengan spesifikasinya:

- a. Lembaran akrilik dengan ukuran maksimal 400 x 400 x 10 mm.



Gambar 3 Lembaran Akrilik

- b. Gambar desain 3D melalui aplikasi Solidworks



Gambar 4 Desain 3D Solidworks

1.2. Spesifikasi Output

Mesin ini menghasilkan *output* berupa produk yang sesuai dengan desain.



Gambar 5 Produk Sesuai Desain 3D

Perancangan mesin CNC Router 3-Axis memiliki batasan proses sebagai berikut :

1. Travel maksimal dari mesin 400 x 400 x 150 mm
2. Dapat memotong material akrilik dengan maksimal *Depth of Cut* 10 mm.
3. Spindle menggunakan hand router, dinyalakan dan dimatikan secara manual.
4. Menggunakan collet diameter 6mm.
5. Proses pemasangan dan pelepasan benda kerja dilakukan secara manual.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Proses perancangan mesin CNC Router 3-Axis memerlukan beberapa bahan dan peralatan sebagai perlengkapan dalam proses perancangan serta beberapa metode pengumpulan data dan perumusan masalah

2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam proses perancangan mesin *CNC Router 3-Axis* lain:

1. Laptop/PC

Proses perancangan yang dilakukan membutuhkan laptop/PC dengan jenis *processor* Intel(R) Core(TM) i5-7200 CPU @2.50GHz (4 CPUs) dan memori minimal RAM size 4 GB

2. Software

Proses perancangan *storage unit* mesin penanam bibit untuk lahan pasca tambang membutuhkan AutoCAD 2016 sebagai *software* dalam proses perancangan gambar 2D, *Solidworks 2017 Education Version* untuk proses perancangan gambar 3D. Microsoft Word 2016 untuk proses penyusunan laporan.

2.2. Bahan

Bahan yang digunakan sebagai dasar proses perancangan mesin *CNC Router 3-Axis*:

1. Hasil Wawancara

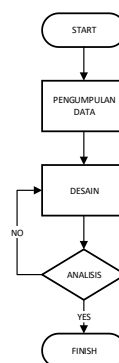
Hasil wawancara digunakan sebagai pelengkap materi dalam proses perancangan mesin *CNC Router 3-Axis*. Hasil wawancara biasanya didapatkan dari *customer*.

2. Catatan Jurnal

Jurnal biasanya digunakan sebagai pembanding antara analisis perancangan dengan dasar-dasar teori yang sudah ada.

2.3. Metode Pengerjaan

Metode pengerjaan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada *flowchart* dibawah ini.



Gambar 6 Flowchart Proses Perancangan

2.3.1. Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data dalam pengerjaan perancangan mesin *CNC Router 3-Axis*:

1. Metode Observasi dan Wawancara

Sumber referensi yang paling sering digunakan untuk pencarian sumber data adalah observasi dan wawancara langsung dengan sumber terkait. Metode ini juga termasuk observasi dengan pihak yang berkompeten di bidang perancangan mesin, perhitungan analisis, konstruksi, serta kontrol.

2. Metode Pustaka

Sumber referensi yang paling sering digunakan untuk pencarian sumber data adalah dari internet dan juga buku-buku. Katalog dan buku referensi dari pembimbing juga merupakan sumber yang penting, jika terjadi kekurangan sumber dari internet dan laporan tugas akhir tahun sebelumnya.

2.3.2. Desain

Setelah mengumpulkan semua data yang melengkapi kebutuhan dalam proses perancangan mesin *CNC Router 3-Axis*, lalu dilakukanlah poses desain yang dibagi menjadi beberapa tahap:

1. Penentuan Matriks Kebutuhan

Sebelum melakukan proses desain, beberapa data harus ditentukan keterkaitan antara satu dengan yang lain. Pada proses penentuan matriks kebutuhan, diperlukan beberapa data seperti *requirement list* yang didapatkan berdasarkan permintaan *customer*, *engineer characteristic* yang diperlukan untuk menjawab permintaan dari *customer*, dan matriks kebutuhan untuk menentukan hubungan antara *requirement list* dan *engineer characteristic*.

2. Pemilihan Konsep

Pemilihan konsep dilakukan dengan metode *Stuart Pugh* atau biasa dikenal sebagai *morphological metode*. Pemilihan konsep ini dilakukan dengan cara *membandingkan* antara 3 atau lebih konsep yang dianggap mampu memenuhi *requirement list*.

3. Penilaian Konsep

Penilaian konsep dilakukan berdasarkan kemampuan konsep tersebut dalam *memenuhi requirement list*, dan juga pertimbangan akan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing konsep yang sudah ditentukan

4. Penentuan Konsep Pemenang

Penentuan konsep pemenang dilakukan berdasarkan hasil dari penilaian dengan kriteria pembobotan dan kriteria penilaian. Hasil dari penilaian tersebut merupakan hasil akhir akan desain yang akan dibuat dan dianggap salah satu konsep terbaik yang mampu memenuhi *requirement list* dibandingkan konsep lainnya.

2.3.3. Analisis

Analisis dilakukan agar rancangan mesin dapat memenuhi kriteria-kriteria yang dibutuhkan dan aman dalam pengaplikasiannya. Analisis yang dilakukan yaitu terdiri dari perhitungan konstruksi, perhitungan dimensi minimum pada bagian kritis, dan perhitungan daya motor.

1. Perhitungan Regangan

Perhitungan regangan diperlukan untuk menentukan seberapa besar regangan yang terjadi serta membantu dalam pembuktian kekuatan konstruksi dalam sebuah perancangan mesin.

Menghitung Tegangan

Hasil pembagian beban dengan luas permukaan digunakan untuk menentukan perkiraan beban yang akan diterima oleh *frame*.

$$\sigma = P / A$$

σ = Tegangan

P = Beban

A = Luas Permukaan

Menghitung Regangan

Hasil bagi besar tegangan dengan modulus elastisitas digunakan untuk mengetahui regangan maksimal yang dialami oleh *frame* saat terjadi pembebanan. Jika regangan perhitungan lebih besar dari regangan hasil simulasi, konstruksi *frame* tersebut aman untuk digunakan.

$$\varepsilon = \sigma / E$$

ε = Regangan
 σ = Tegangan
 E = Modulus Elastisitas

2. Perhitungan Penentuan Diameter *Ballscrew*

Perhitungan untuk mencari diameter minimal *ballscrew* dijelaskan sebagai berikut.

Menghitung Momen Puntir

$$M_t = 9550 \times (P/n)$$

M_t = Momen Puntir
 P = Daya Motor
 n = Putaran Motor

Menghitung Gaya Keliling

$$F_u = 2 \times M_t / d_0$$

F_u = Gaya Keliling
 M_t = Momen Puntir
 d_0 = Diameter Awal

Menghitung Gaya Radial

$$F_r = m \times g$$

F_r = Gaya Radial
 m = Massa Total
 g = Percepatan Gravitasi

Menghitung Gaya Aksial

$$F_a = m \times g$$

F_a = Gaya Aksial
 m = Massa Total
 g = Percepatan Gravitasi

Menghitung Momen Terbesar Sumbu X

$$M_{b_{AX}} = F_u \times L$$

$M_{b_{AX}}$ = Momen Terbesar Sumbu X
 F_u = Gaya Keliling
 L = Panjang Lengan

Menghitung Momen Terbesar Sumbu Y

$$M_{b_{AY}} = F_r \times L$$

Mb_{AY} = Momen Terbesar Sumbu Y

Fr = Gaya Radial

L = Panjang Lengan

Menghitung Resultan Momen Terbesar

$$Mb_{Max} = \sqrt{Mb_{AX}^2 + Mb_{AY}^2}$$

Mb_{Max} = Resultan Momen Terbesar

Mb_{AX} = Momen Terbesar Sumbu X

Mb_{AY} = Momen Terbesar Sumbu Y

Menghitung Momen Puntir

$$Mv = \sqrt{Mb_{max}^2 + (0,75)(\alpha_0 \times MT)^2}$$

Mv = Momen Puntir

Mb_{Max} = Resultan Momen Terbesar

Menghitung Tegangan Sementara

$$\sigma_{sementara} = \sigma / Vs$$

$\sigma_{sementara}$ = Tegangan Sementara

σ = Batas Tekuk

Vs = Angka Keamanan Sementara

Menghitung Diameter Kritis Sementara

$$Dk_{sementara} = \sqrt[3]{\frac{Mv}{0,1 \times \sigma_{sementara}}}$$

$Dk_{sementara}$ = Diameter Kritis Sementara

Mv = Momen Puntir

$\sigma_{sementara}$ = Tegangan Sementara

Menghitung Tegangan Sebenarnya

$$\sigma_{sebenarnya} = \frac{\sigma \times b1 \times b2}{\beta k \times V}$$

$\sigma_{sebenarnya}$ = Tegangan Sebenarnya

σ = Batas Tekuk

βk = Angka Efek Lekuk

V = Angka Keamanan Sebenarnya

Menghitung Diameter Kritis Sebenarnya

$$Dk_{sebenarnya} = \sqrt[3]{\frac{Mv}{0,1 \times \sigma_{sebenarnya}}}$$

$Dk_{sebenarnya}$ = Diameter Kritis Sebenarnya

Mv = Momen Puntir

$\sigma_{sebenarnya}$ = Tegangan Sebenarnya

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan konsep mesin *CNC Router 3-Axis* dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu pembuatan desain morfologi, deskripsi konsep, kriteria pembobotan, kriteria penilaian, dan penilaian ketiga buah konsep untuk mendapatkan sebuah konsep pemenang yang sesuai dengan kebutuhan.

3.1. Penentuan Matriks Kebutuhan

Tabel 1 Tingkat Kepentingan *Requirement List*

No.	<i>Requirement List</i>	Kepentingan
1.	Mampu memotong <i>acrylic</i> (t=10mm)	5
2.	Mudah dioperasikan	5
3.	Mudah dibersihkan	4
4.	Mudah dalam perawatan	4
5.	Dimensi maksimal 700x800x600 mm	3
6.	<i>Low Cost</i> (max. 15 juta)	3
7.	Mudah Dipindahkan	3

Keterangan :

Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa data permintaan *customer* yang memiliki tingkat kepentingan paling tinggi (nilai 5) adalah mampu memotong *acrylic* (t=10mm) , mudah dioperasikan. Sedangkan untuk permintaan *customer* yang bersifat rata-rata (nilai 3) adalah mudah dipindahkan.

Dalam mencapai permintaan tersebut maka dibuatlah rumusan akan solusinya.

Tabel 2 Engineer Characteristic

No	<i>Engineering Characteristics</i>
1.	Kemampuan <i>frame</i> dalam menahan beban (N)
2.	Panjang, lebar, dan tinggi mesin (mm)
3.	Kekuatan potong (N/mm ²)
4.	Kecepatan putaran <i>spindle</i> (rpm)
5.	Torsi motor (N/mm)
6.	Kecepatan <i>feeding spindle</i> (mm/s)

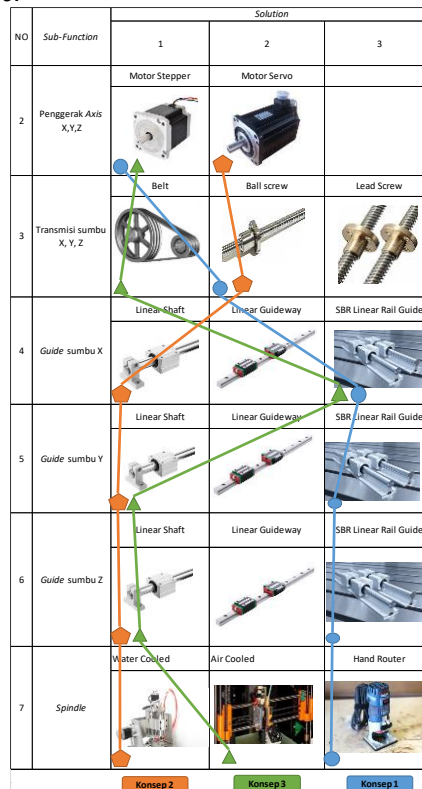
Setelah ditentukan *engineer characteristic*, langkah selanjutnya yaitu merumuskan hubungan dari *requirement list* dengan *engineer characteristic* pada tabel matriks kebutuhan.

Nomor	Tingkat Kepentingan	Customer Requirements	Functional Requirements					
			Kemampuan frame dalam menahan beban (N)	Panjang, lebar dan tinggi mesin (mm)	Kekuatan potong (N/mm ²)	Kecepatan putaran spindle (rpm)	Torsi motor (N/mm)	Kecepatan feeding spindle (mm/menit)
1	5	Mampu memotong material <i>Acrylic</i>	⊙		⊙	⊙	⊙	⊙
2	5	Mudah Dioperasikan					○	
3	4	<i>Easy to Clean</i>		○				
4	4	Perawatan Mudah		△				
5	3	<i>Easy to Move</i>		○				
6	3	<i>Low Cost (max. 15 juta)</i>	○	△	○	○	○	○
7	3	Dimensi maksimal 700x800x600 mm		⊙				
8	2	Desain Futuristik		△				
IMPORTANCE			13	21	13	13	17	13

Gambar 7 Daftar Matriks Kebutuhan

3.2. Perancangan Konsep *Input Unit*

Desain morfologi unit ini akan berisikan tentang *guide* sumbu, motor penggerak, transmisi sumbu, dan *spindle*.



Gambar 8 Morfologi *CNC Router 3 Axis*

Konsep dihasilkan pada desain morfologi di atas dinyatakan dalam garis berhubungan di mana konsep 1 digambarkan dengan garis berwarna biru, konsep 2 dengan garis berwarna oranye, dan konsep 3 dinyatakan dengan garis berwarna hijau.

3.3. Penilaian Konsep *Input Unit*

Penilaian konsep sistem *Input Unit* ini dilakukan dalam 3 tahap, yaitu perhitungan kriteria pembobotan, penentuan kriteria penilaian, dan penilaian ketiga konsep.

3.3.1. Pembobotan Faktor Penilaian

Pembobotan faktor penilaian dapat dilihat pada gambar 3.

Kriteria Pembobotan	Mampu memotong Acrylic (t=10mm)	Mudah dioperasikan	Easy to clean	Perawatan mudah	Easy to Move	Low Cost (max. 15 juta)	Dimensi maksimal 700x800x600 mm	Desain Futuristik
Mampu memotong Acrylic (t=10mm)	1	1	0	0	1	1	0	0
Mudah dioperasikan	1	1	1	1	1	2	1	0
Easy to clean	2	1	1	1	2	2	1	1
Perawatan mudah	2	1	1	1	1	0	1	1
Easy to Move	1	1	0	2	1	1	1	1
Low Cost (max. 15 juta)	1	0	0	1	1	1	0	1
Dimensi maksimal 700x800x600 mm	2	1	1	1	1	2	1	0
Desain Futuristik	2	2	1	1	1	1	2	1
Jumlah	12	8	5	8	8	11	7	5
Kalkulasi Bobot	1.00	0.67	0.42	0.67	0.67	0.92	0.58	0.42

Gambar 9 Pembobotan faktor penilaian

3.3.2. Kriteria Penilaian

Kriteria penilaian konsep mesin CNC Router 3 Axis dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Kriteria Penilaian mesin CNC Router 3 Axis

Mesin CNC Router 3 Axis					
Kriteria Evaluasi	Nilai				
	Sangat Baik (5)	Baik (4)	Cukup (3)	Kurang Baik (2)	Tidak Baik (1)
Mampu memotong Acrylic (t=10mm)	Mampu memotong acrylic dengan ketebalan 15 mm		Mampu memotong acrylic dengan ketebalan 10 mm		Mampu memotong acrylic dengan ketebalan 5 mm
Mudah dioperasikan	Pengoperasian sangat mudah, tidak membutuhkan alat khusus	Pengopersian mudah, tidak membutuhkan alat khusus	Pengoperasian mudah, membutuhkan alat khusus	Pengoperasian rumit, membutuhkan alat khusus	Pengoperasian sangat rumit, membutuhkan alat khusus
Easy to clean	Proses pembersihan sangat mudah, memerlukan alat bantu		Proses pembersihan mudah, memerlukan alat bantu	Proses pembersihan sedikit sulit, memerlukan alat bantu	Proses pembersihan sangat sulit, memerlukan alat bantu
Perawatan mudah	Proses pelumasan kurang dari 5 menit		Proses pelumasan 5-10 menit		Proses pelumasan lebih dari 10 menit
Easy to Move	Mampu diangkat 2 orang, tanpa alat bantu	Mampu diangkat 2 orang, dengan alat bantu	Mampu diangkat 3 orang, dengan alat bantu	Mampu diangkat 4 orang, dengan alat bantu	Memerlukan > 5 orang untuk mengangkat
Low Cost (max. 15 juta)	<10 juta	10-12 juta	12-15 juta	15-17 juta	>17 juta
Dimensi maksimal 700x800x600 mm	Ukuran sesuai, tidak ada ruang kosong	Ukuran sesuai, ada ruang kosong	Ukuran panjang melebihi tuntutan	Ukuran tebal melebihi tuntutan	semua ukuran melebihi tuntutan
Desain Futuristik	Bentuk frame tidak monoton, terdapat lekukan				Bentuk frame monoton, kaku

3.3.3. Penilaian Konsep

Penilaian konsep mesin *CNC Router 3-Axis* dapat dilihat pada tabel 4.

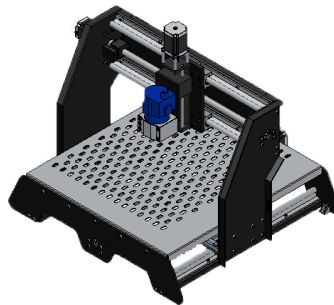
Tabel 4 Penilaian Konsep Mesin

Mesin <i>CNC Router 3 Axis</i>								
No	Kriteria	Bobot	Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3	
			Nilai	Total	Nilai	Total	Nilai	Total
1	Mampu memotong <i>Acrylic</i> (t=10mm)	1.00	5	5.00	5	5.00	5	5.00
2	Mudah dioperasikan	0.67	4	2.68	4	2.68	4	2.68
3	<i>Easy to clean</i>	0.42	5	2.10	3	1.26	2	0.84
4	Perawatan mudah	0.67	4	2.68	3	2.01	4	2.68
5	<i>Easy to Move</i>	0.67	4	2.68	4	2.68	4	2.68
6	<i>Low Cost</i> (max. 15 juta)	0.92	3	2.76	2	1.84	3	2.76
7	Dimensi maksimal 700x800x600 mm	0.58	3	1.74	3	1.74	3	1.74
8	Desain Futuristik	0.42	5	2.10	5	2.10	1	0.42
Total		5.35	33	21.74	29	19.31	26	18.80
PERINGKAT			1		2		3	

Pada tabel 4 dapat disimpulkan bahwa konsep pertama merupakan konsep yang diambil sebagai konsep mesin karena mendapatkan peringkat 1 serta kegunaannya sudah mampu mencukupi kebutuhan mesin yang akan dirancang.

3.3.3.1. Deskripsi Konsep Mesin

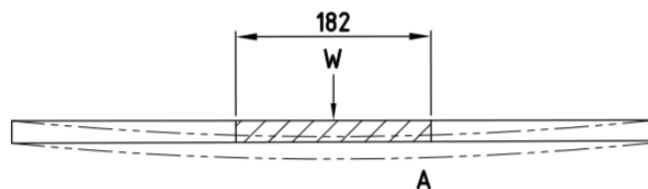
Setelah melalui proses penilaian dan pembobotan, didapatkan konsep mesin dan konsep sistem kontrol pemenang. Didapatkan konsep mesin 1 dan konsep sistem kontrol 1 sebagai pemenang. Penggerak yang digunakan adalah 3 buah *motor stepper* NEMA 23 untuk masing-masing *axis* dan sebuah *hand router* sebagai *spindle*. Material dari frame konsep mesin pemenang menggunakan sheet metal dengan ketebalan 3 mm. Transmisi dari masing-masing sumbu menggunakan *ballscrew* dan menggunakan *SBR Linear Guide* sebagai *guide* sumbu.



Gambar 10 Konsep Mesin *CNC Router 3 Axis*

3.4. Perhitungan Regangan

Perhitungan regangan pada *railguide* sumbu Y untuk mencari tahu seberapa besar regangan yang terjadi pada *railguide* sumbu Y. Perhitungan regangan pada *railguide* sumbu Y akan dijelaskan di bawah ini.



Gambar 11 Ilustrasi perhitungan regangan pada *railguide* kritis

Diketahui:

Luas permukaan *railguide* ($A_{\text{railguide}}$) = 26808 mm²

Beban (P) = W
= 13,65 kN

Modulus Elastitas (E) = 7x10⁶ Pa

Perhitungan Tegangan (σ)

$\sigma = P / A$

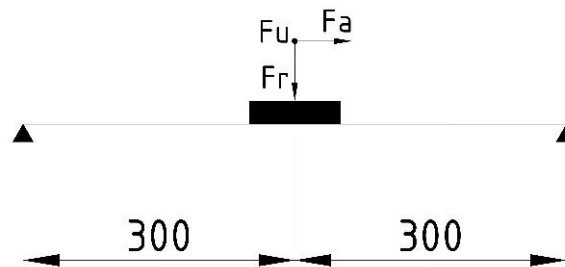
$$\begin{aligned}
 &= 13650 / 26808 \\
 &= 0,509 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 509000 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan regangan (ϵ)

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= \sigma / E \\
 &= 509000 / 7000000 \\
 &= 0,072 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3.5. Perhitungan Penentuan Diameter *Ballscrew*

Perhitungan untuk mencari diameter minimal *ballscrew* dijelaskan sebagai berikut.



Gambar Error! No text of specified style in document..1 Gaya Pada *Ballscrew* Sumbu Y
Menghitung Momen Puntir (M_t)

$$\begin{aligned}
 M_t &= 9550 \times (P/n) \\
 &= 9550 \times (0,0135/120) \\
 &= 1074 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Gaya Keliling (F_u)

$$\begin{aligned}
 F_u &= 2 \times M_t / d_0 \\
 &= 2 \times 1074 / 13 \\
 &= 165,23 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung Gaya Radial (F_r)

$$\begin{aligned}
 F_r &= m \times g \\
 &= 13 \times 9,81 \\
 &= 127,53 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung Gaya Aksial (F_a)

$$\begin{aligned}
 F_a &= m \times g \\
 &= 13 \times 9,81 \\
 &= 127,53 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Terbesar Sumbu X ($M_{b_{AX}}$)

$$\begin{aligned}
 M_{b_{AX}} &= F_u \times L \\
 &= 165,23 \times 300 \\
 &= 49569 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Terbesar Sumbu Y ($M_{b_{AY}}$)

$$\begin{aligned}
 M_{b_{AY}} &= F_r \times L \\
 &= 127,53 \times 300 \\
 &= 38259 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Resultan Momen Terbesar ($M_{b_{Max}}$)

$$\begin{aligned}
 M_{b_{Max}} &= \sqrt{M_{b_{AX}}^2 + M_{b_{AY}}^2} \\
 &= \sqrt{49569^2 + 38259^2} \\
 &= 62616,586 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Puntir (Mv)

$$\begin{aligned} M_v &= \sqrt{M_b \max^2 + (0,75) (\alpha_0 \times M_T)^2} \\ &= \sqrt{62616,586^2 + (0,75) (0,57 \times 1074)^2} \\ &= 16261,83 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Menghitung Tegangan Sementara

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{sementara}} &= \sigma / V_s \\ &= 330 / 2,5 \\ &= 132 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Diameter Ballscrew Sementara

$$\begin{aligned} D_{k_{\text{sementara}}} &= \sqrt[3]{\frac{M_v}{0,1 \times \sigma_{\text{sementara}}}} \\ &= \sqrt[3]{\frac{16261,83}{0,1 \times 132}} \\ &= 10,72 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Tegangan Sebenarnya

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{sebenarnya}} &= \frac{\sigma \times b_1 \times b_2}{\beta_k \times V} \\ &= (330 \times 1 \times 0,94) / (1,3 \times 2,5) \\ &= 95,446 \end{aligned}$$

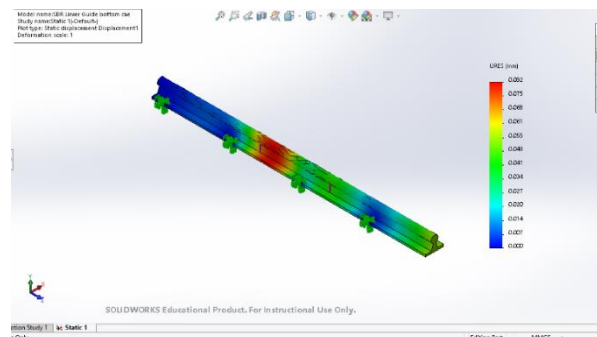
Menghitung Diameter Ballscrew Kritis Sebenarnya

$$\begin{aligned} D_{k_{\text{sebenarnya}}} &= \sqrt[3]{\frac{M_v}{0,1 \times \sigma_{\text{sebenarnya}}}} \\ &= \sqrt[3]{\frac{16261,83}{0,1 \times 95,446}} \\ &= 11,943 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan besar diameter kritis sebenarnya adalah 11,943 mm sedangkan diameter dalam *ballscrew* yang dipakai sebesar 13,835 mm. Jadi *ballscrew* mampu menahan beban dari konstruksi.

3.6. Analisis Displacement (Simulasi CAE)

Analisis *displacement* bertujuan untuk mengetahui regangan maksimal pada konstruksi, hasil simulasi dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 12 Analisis *Displacement*

Dari hasil analisis dapat diketahui besar *displacement* maksimum yang didapatkan adalah sebesar 0,062 mm dengan posisi *displacement* maksimum terdapat pada bagian tengah dari *linear guide*. Hal ini disebabkan karena tegangan yang terjadi pada *linear guide* dan menumpu part-part lain yang menjadi beban total. Diumpamakan

beban yang diterima adalah beban merata sepanjang 182 mm. Beban merata dianggap berada di tengah – tengah linear guide. Sehingga yang terjadi gaya pada *linear guide* merambat pada seluruh permukaan *linear guide* dan menghasilkan perubahan yang maksimal pada bagian tersebut. Regangan simulasi sebesar 0,062 mm lebih kecil dari regangan perhitungan sebesar 0,072 mm, jadi konstruksi rangka *sheet metal* aman.

3.7. Penilaian Pasca Desain

Tabel 5 Tabel Ketercapaian Kebutuhan

Requirement List						
No	Requirement / Permintaan	Spesifikasi teknis yang bisa diukur	Tingkat kepentingan	Indikator ketercapaian (√)	Indikator (%)	Implementasi dalam desain
1	Mampu memotong acrylic	Mampu memotong acrylic dengan tebal 10 mm	5	√	100%	Konstruksi menggunakan sheet metal dengan t = 3 mm dan menggunakan handrouter sebagai alat potong. Sehingga kuat untuk memotong akrilik dengan tebal 10 mm
2	Mudah dioperasikan	Mesin menggunakan sistem plug and play	5	√	100%	Break out board yang dipakai menggunakan koneksi USB sehingga bisa lebih universal
3	Mudah dibersihkan	Tidak membutuhkan lebih dari 2 operator	4	√	100%	Desain dari mesin memudahkan proses pembersihan
4	Perawatan mudah	Menggunakan sistem knock down	4	√	100%	Sistem baut memudahkan dalam perawatan komponen apabila salah satu komponen mengalami aus / rusak.
5	Dimensi maksimal 700 x 800 x 600mm	Dimensi kurang dari 700 x 800 x 600 mm	4	√	100%	Dimensi aktual 692 x 716 x 710
6	Low Cost	Harga tidak lebih dari 15 juta	3	X	97%	Total biaya produksi sebesar Rp. 15,468,117
7	Mudah dipindahkan	Mampu diangkat oleh 2 orang	3	X	67%	Mesin mampu diangkat oleh 4 orang

$$\frac{\sum(\text{Tingkat Kepentingan} \times \text{Presentase})}{\sum \text{Tingkat Kepentingan}} = \text{Persentase Ketercapaian (P)}$$

$$P = ((5 \times 100) + (5 \times 100) + (4 \times 100) + (4 \times 100) + (4 \times 100) + (3 \times 97) + (3 \times 67)) / (5 + 5 + 4 + 4 + 4 + 3 + 3)$$

$$P = 2692 / 28$$

$$P = 96\%$$

4. KESIMPULAN

Rancangan dan realisasi mesin *CNC Router 3-Axis* Berbasis *Mach 3* yang *compact*, otomatis, ergonomis dan dapat memenuhi daftar permintaan pelanggan beserta sistem kontrolnya telah dihasilkan. Konsep mesin dirancang dengan dimensi (PxLxT) 700x800x600 mm dan mampu memotong benda kerja dengan material akrilik yang memiliki ketebalan 10 mm. Ukuran mesin dirancang sedapat mungkin dengan menyesuaikan ukuran tubuh rata-rata manusia dewasa Asia yaitu 160-170 cm. Mesin dirancang untuk mengembangkan kompetensi CAM mahasiswa ATMI terkhusus program studi TPM dan TRPM.

Dari hasil perhitungan mengenai regangan yang terjadi pada frame didapatkan perhitungan regangan perhitungan sebesar 0,072 mm lebih besar dari regangan simulasi sebesar 0,062 mm, maka konstruksi frame aman. Diameter kritis yang didapatkan sebesar 11,943 mm, ballscrew dengan diameter dalam sebesar 13,835 mm aman untuk digunakan.

Rancangan mesin *CNC Router 3-Axis* Berbasis *Mach 3* terdiri dari 3 sumbu yaitu sumbu x, y, dan z dengan sumber tegangan 1 *phase*, 220 VAC/50 Hz. *Input* utama mesin adalah lembaran akrilik dengan dimensi maksimal (PxLxT) 400x400x10 mm yang menghasilkan *output* utama berupa produk yang sesuai dengan program *G-Code* yang telah dibuat.

Perancangan dan realisasi mesin cnc belum sempurna, masih terbuka untuk dilakukan pengembangan diantaranya:

1. Pemberian *vaccum* untuk menyedot *chip* material.
2. Pemberian *cover* pada *ballscrew* sumbu Y dari *chip* material.
3. Mengganti *spindle* dengan *laser*.
4. Pemberian sensor limit pada tiap sumbu selain sensor *homing* sebagai *hard limit*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- A. Zubaidi, I. Syafa'at, Darmanto (2012), Analisis Pengaruh Kecepatan Putar dan Kecepatan Pemakanan Akrilik on (12-november-2013), Diakses dari www.acrylic.net, Kutipan Tentang Acrylic, tanggal 10 Januari 2019
- Alip Januar. 2010. Kutipan Tentang Ball Screw. Diakses dari alipmesin.blogspot.com, tanggal 15 Februari 2019
- B. Sudibyo. **Bantalan Gelinding**. Diktat, Politeknik ATMI Surakarta, Surakarta, 2018.
- Muhammad Agus Syahroni. **Makalah Poros**. Diakses dari [//www.scribd.com/doc/195657494/pengertian-dan-macam-macam-poros](http://www.scribd.com/doc/195657494/pengertian-dan-macam-macam-poros), 15 Juni 2018
- B. Sudibyo. **Poros Penyangga dan Poros Transmisi**. ATMI PRESS SOLO, Surakarta. 2
- B. Sudibyo. **Kekuatan dan Tegangan Ijin**. ATMI PRESS SOLO, Surakarta.
- Engineers Garage. **Sensors: Different Types of Sensors**. Diakses dari <https://www.engineersgarage.com/articles/sensors> , tanggal 2 Mei 2019.
- K3LH. **Analisis Postur Kerja: OWAS**. Artikel, Indonesia, 2016. Diakses dari <http://ergonomi-fit.blogspot.com/2012/01/analisis-postur-kerja-owas.html> , tanggal 25 Mei 2019.
- Kuspriyanto (2011), **Mesin CNC**, Jurnal Departmen Teknologi Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.
- Politeknik ATMI Surakarta. **Tabel Elemen Mesin**. ATMI PRESS SOLO, Surakarta.
- Sejarah dan Pengertian Mesin CNC**. Artikel Indonesia, 2014. Diakses dari <https://deprintz.com/news/13/Definisi-Pengertian-Mesin-CNC-Router>, tanggal 23 Januari 2019
- Santoso, Arif. 7 Juli 2011. **DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI CNC ROUTER MENGGUNAKAN PC UNTUK FLAME CUTTING MACHINE**. Jurnal