

## RANCANG BANGUN MESIN CNC ROUTER 3 AXIS BERBANTU PERANGKAT LUNAK AUTODESK INVENTOR 2015

Andre Budhi Hendrawan, M.T , Nur Aidi Ariyanto, M.T.

Email : andre\_oleng@yahoo.com

D3 Teknik Mesin. Politeknik Harapan Bersama Tegal. Jl. Dewi Sartika No. 71 Kota Tegal

### Abstrak

Mesin *cnc router* ini merupakan alat untuk membantu para pengusaha dibidang produk kreatif terutama yang berkaitan dengan seni ukir-mengukir yang membutuhkan kecepatan, ketepatan dan kualitas produk yang tinggi. Dengan mesin ini para pengusaha dapat menghasilkan produk dengan kapasitas yang banyak dan seragam sehingga barang yang dihasilkan akan sama dan konsisten. Mesin *cnc router* yang akan dibangun menggunakan 3 *axis* dalam pengoperasiannya dan bersifat portable yang bertujuan untuk mempermudah dalam penempatan. Mesin router ini memiliki kapasitas yang terbatas dalam ukuran bahan baku yang digunakan. Dalam jurnal ini, akan dibahas mengenai perencanaan desain mesin *cnc router*, dan bagian-bagian mekanik yang bergerak. Dalam perancangan ini perlu dilakukan suatu analisis untuk memastikan hasil perancangan dapat digunakan. Bila dahulu proses perancangan suatu mesin dilakukan dengan cara “*trial and error*” hingga diperoleh hasil yang optimal, maka saat ini rancang bangun mesin dilakukan dengan proses komputerisasi dalam hal ini mesin *cnc router 3axis* dirancang dengan menggunakan software Autodesk Inventor. Dan material rangka mesin yang dipakai adalah material pelat jenis SS400 dan besi hollo.

**Kata kunci :** mesin ukir, mesin *cnc router 3 axis*, autodesk inventor.

### 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi mengalami peningkatan yang sangat pesat seiring dengan perkembangan zaman. Per-kembangan teknologi ini berbanding lurus dengan berkembangnya peradaban manusia modern. Teknologi yang ada saat ini membantu manusia dalam melakukan segala aktivitas sehari-hari khususnya pada sektor industri. Sektor industri pada era disrupsi ini memasuki revolusi industri 4.0 dimana industri terus mengalami perkembangan yang pesat, terutama di bidang manufaktur. Desain suatu produk menjadi sangat penting mengingat begitu ketatnya persaingan dan cepatnya inovasi yang dikeluarkan oleh produsen untuk mendapatkan pasar penjualan [1].

Pada saat ini kegiatan impor masih jadi andalan pemerintah Indonesia dalam memenuhi kebutuhan dalam negeri. Berdasarkan laporan Badan Pusat Statistik [2] periode bulan oktober 2018 ditunjukkan bahwa selama tahun 2018 pemerintah Indonesia telah melakukan impor non migas sebesar US\$14,32 miliar.

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 Usaha 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 agar 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 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. [3]

### 2. Landasan Teori

#### a. Alat Bantu Rancang Manual

Alat bantu rancang / desain yaitu merupakan proses mendesain dengan menggunakan alat, untuk mempermudah dalam proses pembuatan dan perhitungan yang matang dalam pembuatan rancangan produk. Alat bantu rancang meliputi berikut.

Alat bantu rancang manual adalah alat yang berfungsi untuk proses mendesain dengan alat manual meliputi :

##### 1) Kertas

Kertas gambar, di dalam menggambar teknik, kertas gambar sangat di butuhkan dalam proses mendesain. untuk ukuran kertas gambar sudah

ditentukan berdasarkan standar ISO, yang mana ukuran pokok kertas gambar adalah A4/F4/A3.

## 2) Pensil

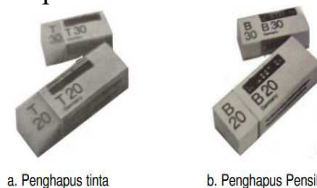
Pensil gambar adalah sebuah alat yang dipakai untuk membuat gambar yang sifatnya tidak permanen atau bisa dihapus dengan alat bantu penghapus. Adapun tipe pensil terbagi menjadi dua yaitu pensil biasa dan pensil mekanis. Pensil biasa, adalah pensil yang bahan luarnya terbuat dari kayu, untuk mendapatkan garis yang bagus dan sesuai dengan ketebalan maka pensil harus diraut sedemikian rupa sehingga ujungnya menjadi runcing dan sesuai dengan keinginan pengguna. Pensil mekanis, adalah pensil yang menyerupai *bolpoint* dan disebut *lead holder*. Pensil ini dapat diisi kembali, dengan isi pensil yang telah ditentukan (0,3 mm, 0,5 mm, 0,7 mm, dan 0,9 mm). Oleh karena itu pembuatan garis bisa disesuaikan dengan ketebalannya tanpa harus meruncingkan ujungnya.



Gambar 1 Pensil Mekanik [4]

## 3) Penghapus

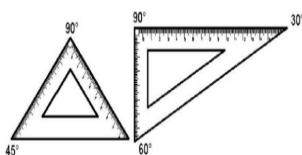
Penghapus adalah peralatan dalam menggambar yang terbuat dari karet dan berfungsi untuk menghilangkan garis / gambar yang tidak diinginkan. Penghapus yang baik adalah penghapus yang dapat menghapus garis / gambar yang salah sampai bersih dan tidak merusak kertas.



Gambar 2 Penghapus [4]

## 4) Mistar

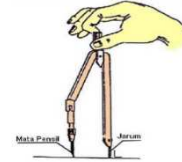
Mistar atau penggaris yang digunakan untuk menarik garis lurus horisontal maupun vertikal.



Gambar 3 Penggaris [4]

## 5) Jangka

Jangka digunakan untuk menggambar lingkaran atau busur lingkaran. Biasanya jangka ditempatkan dalam suatu kotak. Satu kotak jangka yang sederhana paling sedikit berisi: sebuah jangka besar, sebuah alat penyambung untuk membuat lingkaran besar, sebuah jangka *orleon* (jangka pegas) dan sebuah pena penggaris (*trek pen*)



Gambar 4 Jangka [4]

## b. Alat Bantu Rancang Komputer

Peran komputer pada setiap tahapan operasi manufaktur secara faktual terdiri dari berbagai teknis termasuk aktifitas manajerial. Dengan kecanggihan perangkat keras dan perangkat lunak, perusahaan pada saat ini mampu menekan biaya produksi, meningkatkan kualitas produk, mengurangi durasi waktu pengadaan produk, dan menjaga aspek pemasaran pada pasar domestik maupun internasional. *Computer-Aided Design* (CAD), *Computer-Aided Manufacturing* (CAM), dan *Computer-Aided Engineering* (CAE) adalah teknologi yang digunakan untuk tujuan tersebut. Berikut adalah sirkulasi produksi CAD – CAM – CAE.

### 1) Computer-Aided Design (CAD)

Adalah suatu program *computer* untuk menggambar suatu produk atau bagian dari suatu. Produk yang diwakili oleh garis-garis maupun simbol-simbol yang memiliki makna tertentu. *CAD* bisa berupa gambar 2 dimensi dan gambar 3 dimensi.

### 2) Computer-Aided Manufacturing (CAM)

Adalah program *computer* yang terintegrasi kemungkinan perangkat lunak *CAD* saat ini kebanyakan merupakan aplikasi menggambar 3 dimensi atau biasa disebut *solid modeling*. *Solid modeling* kemungkinan kita untuk memvisualisasikan komponen dan rakitan yang kita buat secara *realistic* dengan penggunaan sistem komputer untuk merencanakan, mengatur dan mengendalikan operasi pabrikasi yang terhubung dengan sumber daya produksi pabrik. Program komputer sekarang dapat menghasilkan sejumlah intruksi NC (*Numerical Control*).

### 3) Computer-Aided Engineering (CAE)

Adalah teknologi yang berkaitan dengan penggunaan sistem komputer untuk menghitung dan menganalisis penerapan beban pada geometri hasil permodelan CAD.

## c. Autodesk Inventor 2015

*Autodesk Inventor* 2015 adalah salah satu produk dari Autodesk Inventor Corp. yang diperuntukan untuk *engineering design and drawing*. Autodesk inventor merupakan pengembangan dari produk-produk CAD setelah AutoCAD dan *Autodesk Mechanical Desktop*. *Autodesk Inventor* memiliki beberapa kelebihan yang memudahkan dalam *design* serta tampilan lebih menarik / rill karena material yang disediakan. Beberapa kelebihan dari *Autodesk Inventor* tersebut diantaranya:

- 1) Memiliki kemampuan *parametric solid modeling*, yaitu kemampuan untuk melakukan *design* model dengan data yang telah tersimpan dalam *data base*.
- 2) Memiliki kemampuan *animation*, yaitu kemampuan untuk menganimasi suatu *file assembly* mengenai jalannya suatu alat yang di *assembly* dan dapat disimpan dalam bentuk *file* AVI.
- 3) Memiliki kemampuan *automatic create technical 2D* serta *bill of material* dan tampilan *shading* dan *rendering* pada *layout*.
- 4) *Adaptive* yaitu kemampuan menganalisa gesekan dari animasi suatu alat serta dapat menyesuaikan dengan sendirinya.
- 5) Material atau bahan yang memberikan tampilan yang lebih nyata.
- 6) Kapasitas *file* yang lebih kecil.

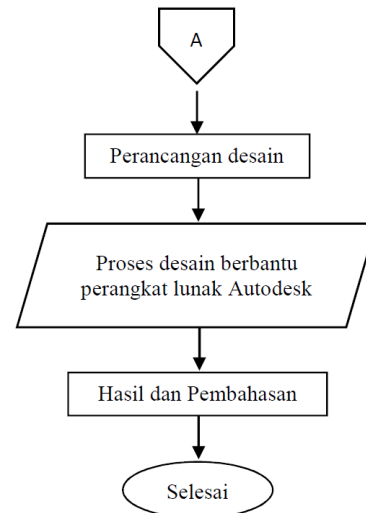
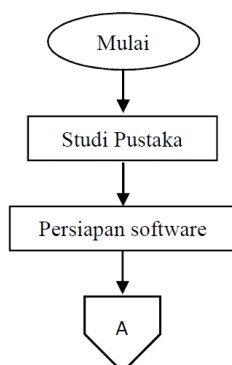
Dari beberapa kelebihan tersebut maka pemakaian *Autodesk Inventor* sangat memberikan keuntungan dari efisiensi serta efektifitas waktu untuk produktifitas pekerjaan yang akan dilakukan



Gambar 5 Tampilan Autodesk Inventor

## 3. Metodologi Penelitian

## a. Diagram Alur Penelitian



Gambar 6 Diagram Alur Penelitian

## b. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada saat akan melakukan pembuatan sebuah desain mesin *CNC Router 3 Axis* adalah:

- 1) *Software Autocad 2013* dan *Software Autodesk Inventor 2015*
- 2) Mesin *CNC Plasma*
- 3) Mesin Bor
- 4) Mesin Gerinda
- 5) Mesin Bubut
- 6) *Calliper/* Jangka sorong
- 7) Kunci shock 4, 5, 6, 8, dan 10

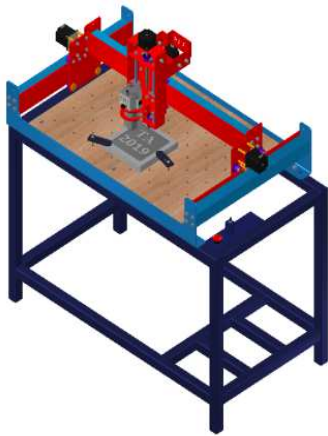
Bahan yang digunakan pada saat pembuatan rangka mesin *CNC Router* sebagai berikut :

- 1) *Frame* menggunakan pelat besi SS400 dengan ketebalan 6 mm.
- 2) Komponen rel *frame*, alas *frame* dan rangka *Y Axis* menggunakan pelat besi SS400 dengan ketebalan 4,5 mm.
- 3) *Frame* penahan rel menggunakan besi hollo dengan ukuran 2x50x50 mm.
- 4) *Frame* pergerakan *Z* adalah dengan pelat besi SS400 dengan ketebalan 3,2 mm.
- 5) Baut dengan ukuran M10x1,5x70, M8x1,25x20 8.8, M6x1x30, M6x1x50, M5x0,8x70, M4x0,7x20.
- 6) Meja alas dari kayu jati dengan ukuran 20x1000x600.

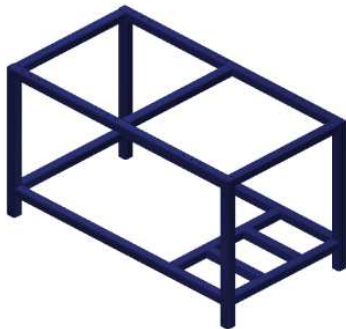
## 4. Hasil dan Pembahasan

a. Membuat Gambar 2D Desain Assembly Mesin *CNC Router* dan *Frame* Meja Mesin

Desain *assembly* mesin *CNC router 3 axis* secara keseluruhan dan *frame* merupakan hasil pengumpulan data dari *literatur*, survey lapangan dan perhitungan. Berikut ini adalah rancangan desain mesin *CNC router 3 axis* menggunakan *software autodesk inventor 2015* :



Gambar 7 Desain Mesin CNC Router 3 Axis



Gambar 8 Frame Meja CNC Router

b. *Stress Analysis frame*

*Stress analysis frame* adalah sebuah *software* komputer yang memberikan fungsi untuk menggambar/mendesain benda kerja dengan fasilitas mengetahui/menganalisis sebuah desain tentang kekuatan tekan pada benda aslinya, contohnya yaitu *frame/* rangka.

1) *General objective and settings:*

Tabel 1. Pengaturan dan Tujuan

Design Objective	Single Point
Simulation Type	Static Analysis
Last Modification Date	05/08/2019, 0:32
Detect and Eliminate Rigid Body Modes	No
Separate Stresses Across Contact Surfaces	No
Motion Loads Analysis	No

2) *Mesh settings:*Tabel 2. *Mesh setting*

Avg. Element Size (fraction of model diameter)	0,1
Min. Element Size (fraction of avg. size)	0,2
Grading Factor	1,5
Max. Turn Angle	60 deg
Create Curved Mesh Elements	No
Use part based measure for Assembly mesh	Yes

3) *Komponen Frame/ Rangka*

Berikut ini adalah tabel penjelasan tentang nama komponen-komponen dari sebuah *frame/rangka* pada meja mesin *CNC router 3 axis*, yang nantinya akan di ujikan menggunakan *software* komputer yaitu *autodesk inventor 2015*. Untuk mengetahui kekuatan rangka meja *CNC router* tersebut.:

Tabel 3. *Komponen Frame /Rangka*

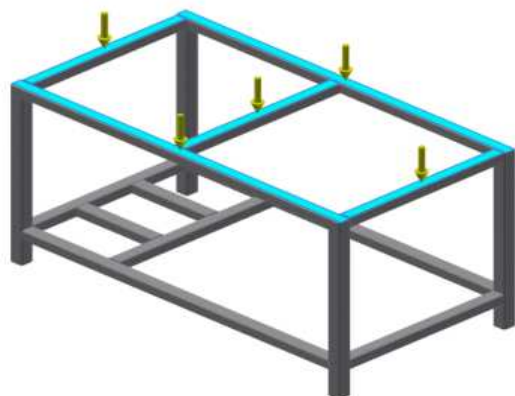
No	Nama	Discription		
		SxSxT	Ukuran Panjang	Satuan
1	Kaki	40x40x3	620 mm	6 pcs
2	Frame Atas Depan	40x40x3	500x210 x 30 mm	1 pcs
3	Frame Atas Samping	40x40x3	210x210 x 30 mm	2 pcs
4	Frame Bawah Depan	40x40x3	70 mm	4 pcs
5	Frame Bawah Samping	40x40x3	500x210 x 30 mm	1 pcs
7	Frame Dudukan Alas	40x40x3	420x170 x 30 mm	1 pcs

4) *Proses pengujian*

Pada pengujian rangka meja mesin router, dirancang dan dianalisis kekuatannya dengan memberikan beban pada keempat bagian pada meja sebesar 40 N, 50 N, dan 60 N. Selanjutnya menentukan *constrain* dilakukan dengan acuan posisi dari tumpuan yang ada pada produk desain yang telah di modelkan. *Constrain* dapat berupa *fixed constraints*, *pin constraints*, dan *friction constraints*.

Tabel 4. *Besaran Force*

Load Type	Force 1	Force 2	Force 3
Magnitude	40.000 N	50.000 N	60.000 N
Vector X	-0.000 N	-0.000 N	-0.000 N
Vector Y	0.000 N	0.000 N	0.000 N
Vector Z	-40.000 N	-50.000 N	-60.000 N

Gambar 9 *Force*5) *Reaction Force and Moment on Constraints*

Tabel 5. Reaksi Beban Dan Momen

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Component (X,Y,Z)	Magnitude	Component (X,Y,Z)
Fixed Constraint:1	39,1387 N	34,4092 N	4,75297 Nm	
		2,07431 N		0 Nm
		18,5348 N		0,557946 Nm
Fixed Constraint:2	135,913 N	-34,6687 N	0,633202 Nm	-0,322853 Nm
		-1,89159 N		0 Nm
		131,404 N		0,544712 Nm

## 6) Result Summary

Tabel 6. Ringkasan dan Hasil

Name	Minimum	Maximum
Volume	4.398.440 mm <sup>3</sup>	
Mass	34,5278 kg	
Von Mises Stress	0,0159226 kPa	2,09039 MPa
1st Principal Stress	-0,387386 MPa	1,81057 MPa
3rd Principal Stress	-2,21859 MPa	0,160451 MPa
Displacement	0 mm	0,0117139 mm
Safety Factor	15 $\mu$ l	15 $\mu$ l
Stress XX	-2,04918 MPa	1,73902 MPa
Stress XY	-0,710694 MPa	0,73236 MPa
Stress XZ	-0,579877 MPa	0,564399 MPa
Stress YY	-0,820008 MPa	0,498605 MPa
Stress YZ	-0,339501 MPa	0,599866 MPa
Stress ZZ	-0,835323 MPa	0,515273 MPa
X Displacement	-0,564659 $\mu$ m	0,582528 $\mu$ m
Y Displacement	-0,000235599 mm	0,00015136 mm
Z Displacement	-0,0117138 mm	0,00007603 mm
Equivalent Strain	0,00000000006 $\mu$ l	0,000008438 $\mu$ l
1st Principal Strain	-0,0000000523 $\mu$ l	0,000008280 $\mu$ l
3rd Principal Strain	-0,0000096891 $\mu$ l	0,000000019 $\mu$ l
Strain XX	-0,0000087073 $\mu$ l	0,000007755 $\mu$ l

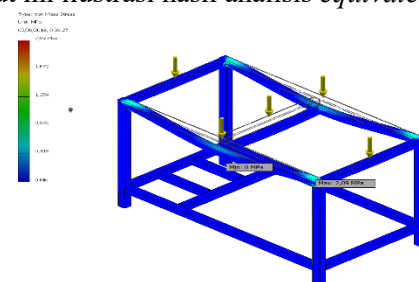
Name	Minimum	Maximum
Strain XY	-0,0000041188 $\mu$ l	0,000004244 $\mu$ l
Strain XZ	-0,0000033606 $\mu$ l	0,000003270 $\mu$ l
Strain YY	-0,0000029177 $\mu$ l	0,000003685 $\mu$ l
Strain YZ	-0,0000019675 $\mu$ l	0,000003476 $\mu$ l
Strain ZZ	-0,0000024714 $\mu$ l	0,000002934 $\mu$ l
Contact Pressure	0 MPa	5,06825 MPa
Contact Pressure X	-3,1427 MPa	4,2329 MPa
Contact Pressure Y	-2,29271 MPa	2,57189 MPa
Contact Pressure Z	-2,68125 MPa	1,37865 MPa

Dari hasil analisis Tabel 6 diatas yaitu

1. *Fixed Constraint 1* : besarnya reaksi *Magnitude*/beban ialah 39,1387 N. Mengenai titik beban pada sumbu X sebesar 34,4092 N, Y 2,07431 N, Z 18,5348 N sehingga terjadi reaksi beban pada sumbu Y sebesar 8,3129 N mm. Sehingga reaksi momen pada sumbu X ialah sebesar 2,42026 N m, dan pada sumbu Y ialah sebesar 6,42283 N m, dan pada sumbu Z ialah sebesar 4,68976 N m.
2. *Fixed Constraint 2* : besarnya reaksi *Magnitude*/beban ialah 135,913 N. Mengenai titik beban pada sumbu X sebesar -34,6687 N, Y -1,89159 N, Z 131,404 N sehingga terjadi reaksi beban pada sumbu Y sebesar 8,31627 N. Sehingga reaksi momen pada sumbu X ialah sebesar -2,45421 N m, dan pada sumbu Y ialah sebesar -6,47655 N mm, dan pada sumbu Z ialah sebesar -4,60341 N m.

## 7) Von Mises Stress

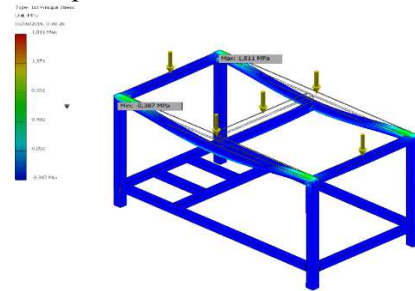
Tegangan salah satu *post-processor* adalah hasil perhitungan hubungan tegangan – regangan pada model benda, regangan diperoleh dari *deformation* yang dialami model. Tegangan ekuivalen yang digunakan metode *Von-Mises*. Berikut ini ilustrasi hasil analisis *equivalent stress*



Gambar 10 Von Mises Stress

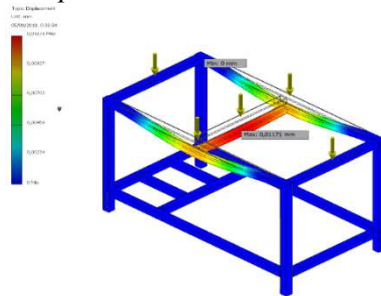


## a) 1st Principal Stress



Gambar 11 1st Principal Stress

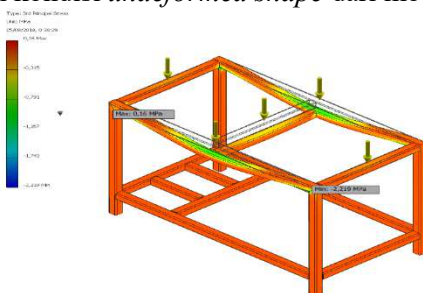
## b) 3rd Principal Stress



Gambar 12 3rd Principal Stress

## c) Displacement

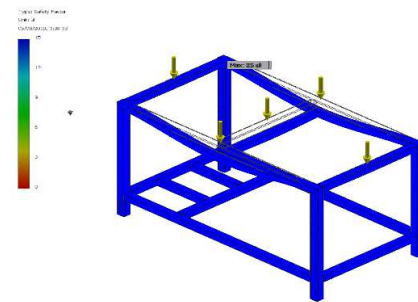
Hasil utama dari *analisis struktur statis* menggunakan *metode elemen* adalah *deformation* atau *displacement*. Hasil model menunjukkan bahwa total *deformation* terbesar ada pada rangka atas tengah tempat dudukan mesin *CNC* sebesar 0,0117139 mm dan total *deformation* terkecil ada pada bagian tumpuan dengan kaki meja yaitu sebesar 0 mm. berikut ilustrasi total *deformation* dengan kondisi *undeformed shape* dari model.



Gambar 13 Displacement

## d) Safety Factor

*Safety factor* atau angka keamanan merupakan salah satu parameter penting untuk menentukan apakah suatu konstruksi itu aman atau tidak. *Safety factor* merupakan perbandingan antara tegangan ijin bahan dengan tegangan yang terjadi. Konstruksi dinyatakan aman apabila angka keamanannya diatas satu.



Gambar 14 Safety Factor

Standar Kondisi:

- Von Mises* GAGAL, jika nilai *maximum Von Mises stress* material lebih dari kekuatan bahan (*strength of the material*).
- 1st *Principal Stress* akan membantu kita memahami *maximum tegangan tarik (tensile)* akibat adanya pembebanan
- 3rd *Principal Stress* akan membantu kita memahami *maximum gaya tekan (compressive stress)* karena adanya tekanan.
- Rasio Poisson* adalah *regangan lateral* yang dibagi dengan regangan aksial (*strain lateral* tentang daerah, dan regangan aksial adalah tentang perubahan panjang).

## 5. Kesimpulan

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Pada proses perancangan mesin *CNC router* sebaiknya pengambilan data dengan mengukur dimensi ukuran secara detail komponen yang akan dipasang sehingga ketika proses *assembly* akan lebih mudah dan sesuai dengan ukuran yang komponen yang telah dibuat.
- Hal yang mempengaruhi laju kepresisian gerak mesin adalah pelat rel yang lurus tidak bergelombang dan roda luncur yang terikat kuat dengan pelat rel.
- Dudukan alas meja yang tidak rata mempengaruhi kerataan pemakanan proses *cutting* dan kualitas produk.
- Untuk besi hollo akan mengalami ledutan ketika ada pembebanan 70 kg di tengah. Yang diperbolehkan ledutannya terjadi hanya 3 mm sedangkan dalam simulasi tersebut kita dapatkan *Displacement* sebesar 0,0117139 mm, artinya masih diperbolehkan atau diterima oleh kriteria AISC (*American Institute of Steel Construction*).
- Tegangan tarik didapatkan -0,387386 MPa dengan arah minus, padahal yang diperbolehkan adalah 0,40597 MPa, jadi masih OK.
- Tegangan tekan didapatkan -2,21859 MPa, padahal yang diperbolehkan adalah 0,40597 MPa, jadi masih OK.

- g. *Safety factor* didapatkan 15 ul, padahal yang dikategorikan konstruksi aman adalah diatas 1 ul maka untuk material tersebut dikategorikan aman.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] Sumantri, Dede. 2008. *Peningkatan Kinerja Mesin Rapid Prototyping Bebas Fused Desposition Modelling*. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia
- [2] BPS (2018, 15 november). *Perkembangan Ekspor dan Impor Indonesia Oktober 2018 No. 93/11/Th.XXI*, Berita Resmi Statistik. Jakarta.
- [3] Naldy, Syafri (2016, 2 oktober) *Perancangan Dan Analisis Struktur Mekanik Prototipe Mesin CNC Milling 3-Axis*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- [4] Sinaga, 2016. *Teknik Gambar Bangunan*. Modul Guru Pembelajar. Medan.
- [5] Amri, Sumbodo (2018, 2 oktober) *Perancangan 3D Printer Tipe Core XY Berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) Menggunakan Software AutoDesk Inventor 2015*. Semarang, Universitas Negeri Semarang.
- [6] A.S, Rossa dan M. Shalahuddin. (2013). *Rekayasa Perangkat Lunak Terstruktur dan Berorientasi Objek*. Bandung : Penerbit Informatika.
- [7] Bambang (2016, desember) *Perancangan dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Hybrid Trisona Menggunakan Software Autodesk Inventor*. Surabaya, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- [8] Cahyono, 2017. *Rancang Bangun Meja Mesin Plasma Cutting dengan Gerak 3 Axis X,Y, Z Menggunakan Motor Stepper Berbasis Arduino*. Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh November.
- [9] Jayachandraiah (2014, 6 juni) *Fabrication of Low Cost 3-Axis Cnc Router*. India, SriKalahateeswara Institute of Technology.
- [10] Pressman, R.S., 2002. *Rekayasa Perangkat Lunak*, Buku Satu, diterjemahkan oleh: Harnaningrum L.N., Andi, Yogyakarta.