



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PERHITUNGAN DAN ANALISA STRUKTUR  
ROTATIONAL AXIS PADA MESIN CNC WCM 1000  
5 AXIS BERDASARKAN METODE PERHITUNGAN  
ELEMEN MESIN DAN ELEMEN HINGGA**

**NURUL WIDADI  
1021150000047**

**Dosen Pembimbing  
Hendro Nurhadi, Dipl. Ing., PhD  
NIP. 19751120 200212 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
FAKULTAS VOKASI  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**



**TUGAS AKHIR - TM 145502**

**PERHITUNGAN DAN ANALISA STRUKTUR  
ROTATIONAL AXIS PADA MESIN CNC WCM 1000  
5 AXIS BERDASARKAN METODE PERHITUNGAN  
ELEMEN MESIN DAN ELEMEN HINGGA**

**NURUL WIDADI  
1021150000047**

**Dosen Pembimbing  
Hendro Nurhadi, Dipl. Ing., PhD  
NIP. 19751120 200212 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI  
FAKULTAS VOKASI  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**





**FINAL PROJECT - TM 145502**

**CALCULATION AND ANALYSIS OF THE  
STRUCTURE OF THE ROTATIONAL AXIS ON CNC  
MACHINES WCM 1000 5 AXIS BASED ON  
CALCULATION MACHINE ELEMENT AND FINITE  
ELEMENT METHOD**

**NURUL WIDADI  
1021150000047**

**Advisor  
Hendro Nurhadi, Dipl. Ing., PhD  
NIP. 19751120 200212 1 002**

**DEPARTEMENT OF MECHANICAL INDUSTRY ENGINEERING  
FACULTY OF VOCATION  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**



**PERHITUNGAN DAN ANALISA STRUKTUR ROTATIONAL  
AXIS PADA MESIN CNC WCM 1000 5 AXIS  
BERDASARKAN METODE PERHITUNGAN ELEMEN  
MESIN DAN ELEMEN HINGGA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
Pada Bidang Studi Manufaktur  
Program Studi Diploma III  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**NURUL WIDADI**  
**NRP. 1021150000047**

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Dosen Pembimbing I

**Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing, Ph.D**  
**NIP. 19751120 200212 1 002**

**SURABAYA, Juli 2018**



# PERHITUNGAN DAN ANALISA STRUKTUR ROTATIONAL AXIS PADA MESIN CNC WCM 1000 5 AXIS BERDASARKAN METODE PERHITUNGAN ELEMEN MESIN DAN ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Nurul Widadi  
NRP : 1021150000047  
Jurusan : Departemen Teknik Mesin  
Industri FV-ITS  
Dosen Pembimbing : Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing.Ph.D.

## Abstrak

Mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*), merupakan salah satu mesin perkakas yang dibutuhkan oleh perindustrian pada bidang manufaktur. Salah satu yang dibuat oleh Lab Mekatronika ITS yakni CNC *WCM 1000 5 Axis*.

Untuk pembuatannya yang perlu diperhatikan yakni kontruksi dari struktur mesin tersebut dan pemilihan material dengan menghitung gaya yang diterima dan tegangan maksimum yang terjadi untuk dibandingkan menggunakan software Inventor. Sehingga pemilihan material tidak berlebih dan *cost* yang dikeluarkan untuk produksi juga rendah. Untuk mengetahui gaya yang bekerja pada mesin *CNC WCM 1000* ini diperlukan perhitungan. Perhitungan dilakukan berdasarkan Statika, elemen mesin dan program Inventor.

Hasil daripada tugas akhir ini adalah komponen Mesin *WCM 1000 5 Axis* didapatkan data Poros 1  $\tau_{max}$  15,983 MPa material Alumunium, Poros 2  $\tau_{max}$  7,579 MPa material Alumunium, Base 4 Axis  $\tau_{max}$  28,893 MPa material ASTM A36, Base Holder Spindle  $\tau_{max}$  25,240 MPa material ASTM A36.

**Keyword;** *Mesin CNC WCM 1000, Tegangan, Material, Inventor.*





# CALCULATION AND ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF THE ROTATIONAL AXIS ON CNC MACHINES WCM 1000 5 AXIS BASED ON CALCULATION MACHINE ELEMENT AND FINITE ELEMENT METHOD

Name : Nurul Widadi  
NRP : 1021150000047  
Subject : Departemen Teknik Mesin  
Industri FV-ITS  
Advisor : Hendro Nurhadi, Dipl.-Ing.Ph.D.

## Abstract

*CNC (Computer Numerically Controlled), is one such machine tools needed by the industry in manufacturing. One of the Mechatronics Lab created by ITS i.e. CNC Machines WCM 1000 5 Axis.*

*For making noteworthy i.e. construction of the machine structure and selection of the material by calculating the accepted style and maximum tegangna happened to compare using Inventor software. So that no excess material selection or cost incurred for production low. To know the forces acting on this 1000 CNC WCM necessary calculations. The calculation is done based on statics, mechanical and Inventor program elements.*

*The result of this final project is a component of the machine Axis data obtained 1000 5 WCM Shaft 1  $\tau_{max}$  15.983 MPa material Aluminium, Shaft 2  $\tau_{max}$  7.579 MPa material aluminium, Base 4 Axis  $\tau_{max}$  28.893 MPa material ASTM A36, Base Holder Spindle  $\tau_{max}$  25.240 MPa ASTM material A36.*

**Keyword:** *WCM 1000 CNC machines, power, materials, Inventor.*



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmatNya, sehingga dapat diselesaikan dengan baik dalam penyusunan Tugas Akhir yang berjudul :

### **“Perhitungan dan Analisa Struktur Rotational Axis pada Mesin CNC WCM 1000 5 Axis berdasarkan Metode Perhitungan Elemen Mesin dan Elemen Hingga”**

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS untuk bisa dinyatakan lulus. dalam rangka tersebut maka disusunlah Tugas Akhir ini. Selain itu Tugas Akhir juga merupakan suatu bukti yang dapat diberikan kepada almamater dan masyarakat.

Banyak pihak yang telah membantu sampai selesainya Tugas Akhir ini, oleh karena itu pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Hendro Nurhadi, Dipl. Ing., PhD** selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dukungan serta saran sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. **Bapak DR. Ir. Heru Mirmanto, MT** Ketua Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri FV – ITS.
3. **Bapak Ir. Suhariyanto, MSc** selaku koordinator Tugas Akhir.
4. **Bapak Ir. Winarto, DEA** selaku dosen wali.
5. **Bapak – Ibu dosen penguji** yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.
6. Semua dosen dan karyawan Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
7. **Bapak Moh Rokhis, Ibu Nur Cholidah, M. Al Faris, dan Amirah N.** yang selalu memberi semangat dan mendoakan beserta keluarga.

8. **Mas Tito, Mas Mail, Mas Nuril, dan Mas Dennis** yang telah membantu berupa ilmu, tenaga, waktu maupun materi.
9. **Serta semua teman-teman Departemen Teknik Mesin Industri ITS dan Teman-Teman Kos Bu Wiji** yang telah membantu penulisan Tugas Akhir ini.

Kekurangan atau ketidaksempurnaan tentu masih ada, namun bukan sesuatu yang disengaja, hal tersebut semata-mata karena kekhilafan dan keterbatasan pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Metodologi Penelitian .....	4
1.7 Sistematika Laporan.....	4
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>7</b>
2.1 Mesin CNC.....	7
2.2 Klasifikasi Proses Pemesinan .....	8
2.2.1 Mesin Bubut CNC .....	9
2.2.2 Mesin Frais CNC .....	11
2.3 Komponen Mesin CNC .....	13
2.3.1 Mesin Spindle .....	13
2.3.2 Servo Motor.....	14
2.3.3 Coolant House.....	14
2.3.4 Coolant Tank.....	17
2.4 Elemen Dasar Proses Frais .....	16
2.5 Material yang Digunakan .....	17
2.6 Metode Elemen Hingga ( <i>Finite Element</i> <i>Analysis/FEA</i> ).....	18
2.6.1 Meshing .....	19
2.6.2 <i>Boundary Condition</i> .....	20

2.7	Kesetimbangan Benda Tegar.....	20
2.8	Tegangan .....	21
2.8.1	Tegangan Tarik (Tensile Stress).....	21
2.8.2	Tegangan Tegang (Compressive Stress).....	21
2.8.3	Tegangan Bending .....	22
2.8.4	Tegangan Ijin, Faktor Keamanan.....	23
2.9	Perhitungan Gaya .....	24
2.9.1	Gaya Normal dan Bidang Gaya Normal ( <i>Normal Diagram</i> ).....	24
2.9.2	Gaya Geser ( <i>Shear Force Diagram</i> ).....	24
2.9.3	Momen dan Bidang Momen ( <i>Bending Momen Diagram</i> ).....	26
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>29</b>
3.1	<i>Flowchat</i> Penelitian.....	29
3.2	<i>Flowchart</i> Analisa Gaya dan Perhitungan.....	36
3.3	<i>Flowchart</i> Simulasi Inventor.....	40
<b>BAB IV PEMBAHASAN DAN PERHITUNGAN .....</b>		<b>51</b>
4.1	Pemilihan Komponen Kritis .....	51
4.2	Material yang Digunakan .....	51
4.3	Tahap Perhiungan Daya Motor.....	52
4.4	Perhitungan Statika Manual.....	53
4.4.1	Poros 1 (kiri-kanan).....	56
4.4.2	Poros 2 (kanan-kiri).....	66
4.4.3	Base 4 Axis .....	73
4.4.4	Base Holder Spindle.....	85
4.5	Analisa Simulasi Numerik Menggunakan FEM.....	96
<b>BAB V SIMULASI.....</b>		<b>99</b>
5.1	Poros 1.....	99
5.2	Poros 2.....	102
5.3	Base 4 Axis.....	105
5.4	Base Holder Spindle.....	108
<b>BAB VI PENUTUP .....</b>		<b>115</b>
6.1	Kesimpulan.....	115
6.2	Saran.....	115

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>117</b>
<b>Lampiran 1.....</b>	<b>119</b>
<b>Lampiran 2.....</b>	<b>123</b>





## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> (a) mesin frais vertikal tipe column and knee dan (b) mesin frais horisontal tipe column and knee ....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Mesin frais turret vertikal horizontal .....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Gerakan Sumbu Utama Koordinat X dan Z.....	10
<b>Gambar 2. 4</b> Mesin Bubut CNC Leadwell Turning .....	10
<b>Gambar 2. 5</b> Mesin frais tipe Column and knee dan mesin frais tipe bed.....	12
<b>Gambar 2. 6</b> Mesin frais tipe khusus (special purposes). Mesin frais dengan dua buah spindle .....	12
<b>Gambar 2. 7</b> Mesin frais CNC tipe bed (Bed tipe CNC miling machine).....	13
<b>Gambar 2. 8</b> Main Spindle.....	13
<b>Gambar 2. 9</b> Servo Motor .....	14
<b>Gambar 2. 10</b> Coolant House.....	15
<b>Gambar 2. 11</b> Coolant Tank.....	15
<b>Gambar 2. 12</b> Skematis proses frais vertikal dan frais horisontal .....	16
<b>Gambar 2. 13</b> Gaya Tarik .....	21
<b>Gambar 2. 14</b> Gaya Tekan .....	22
<b>Gambar 2. 15</b> Gaya Bending.....	22
<b>Gambar 2. 16</b> Gaya Normal .....	24
<b>Gambar 2. 17</b> Tanda gaya geser.....	26
<b>Gambar 2. 18</b> Definisi Momen Bending.....	26
<b>Gambar 2. 19</b> Tanda Momen Bending.....	27
<b>Gambar 3. 1</b> Flow Chart Penelitian .....	30
<b>Gambar 3. 2</b> Assembly WCM 1000 5 Axis .....	31
<b>Gambar 3. 3</b> Desain Rotational Axis .....	32
<b>Gambar 3. 4</b> Part Poros .....	33
<b>Gambar 3. 5</b> Part Base Holder Spindle (untuk gambar lebih jelas ada dilampiran).....	33
<b>Gambar 3. 6</b> Part Detail Base 4 Axis(untuk gambar lebih jelas ada dilampiran) .....	34
<b>Gambar 3. 7</b> <i>Flow Chart</i> Perhitungan Manual.....	36

<b>Gambar 3. 8</b> <i>Flow Chart</i> Simulasi Beban Statis dengan Inventor .....	41
<b>Gambar 3. 9</b> Model dengan Inventor .....	42
<b>Gambar 3. 10</b> Model Poros Holder Spindle dengan Inventor....	42
<b>Gambar 3. 11</b> Model Holder Spindle dengan Inventor.....	43
<b>Gambar 3. 12</b> Model Base 4 Axis dengan Inventor.....	43
<b>Gambar 3. 13</b> Pemilihan Material ASTM A36.....	44
<b>Gambar 3. 14</b> Penentuan fixed Support pada Poros .....	45
<b>Gambar 3. 15</b> Penentuan fixed Support pada Holder Spindle ...	45
<b>Gambar 3. 16</b> Penentuan fixed Support pada Base 4 Axis .....	46
<b>Gambar 3. 17</b> Pemberian beban statis pada Poros .....	46
<b>Gambar 3. 18</b> Pemberian beban statis pada Holder Spindle .....	47
<b>Gambar 3. 19</b> Pemberian beban statis pada Base 4 Axis .....	47
<b>Gambar 3. 20</b> Meshing pada Poros .....	48
<b>Gambar 3. 21</b> Meshing pada Holder Spindle.....	48
<b>Gambar 3. 22</b> Meshing pada Base 4 Axis.....	49
<b>Gambar 3. 23</b> Simulate Poros 1 dan Poros 2.....	49
<b>Gambar 3. 24</b> Simulate Holder Spindle .....	50
<b>Gambar 3. 25</b> Simulate Base 4 Axis .....	50
<b>Gambar 4. 1</b> Poros 1 .....	56
<b>Gambar 4. 2</b> Free body diagram poros 1 sumbu x-z.....	57
<b>Gambar 4. 3</b> Skematik Belt and Pulley.....	57
<b>Gambar 4. 4</b> Potongan poros 1 sumbu x-z.....	58
<b>Gambar 4. 5</b> Free body diagram poros 1 sumbu y-z.....	59
<b>Gambar 4. 6</b> Potongan poros 1 sumbu y-z (1-1).....	60
<b>Gambar 4. 7</b> Potongan poros 1 sumbu y-z (2-2).....	61
<b>Gambar 4. 8</b> Free body diagram poros 1 sumbu y-z.....	62
<b>Gambar 4. 9</b> Potongan poros 1 sumbu y-x.....	63
<b>Gambar 4. 10</b> Free body diagram poros 2 sumbu y-z.....	66
<b>Gambar 4. 11</b> Potongan poros 2 sumbu y-z (1-1).....	67
<b>Gambar 4. 12</b> Potongan poros 2 sumbu y-z (2-2).....	68
<b>Gambar 4. 13</b> Free body diagram poros 2 sumbu y-z.....	69
<b>Gambar 4. 14</b> Potongan poros 1 sumbu y-x.....	70
<b>Gambar 4. 15</b> Exploded Base 4 Axis.....	73
<b>Gambar 4. 16</b> Base 4 axis part 1 pandangan x-y.....	74

<b>Gambar 4. 17</b> Sisi perpotongan base 4 axis part 1 pandangan x-z .....	74
<b>Gambar 4. 18</b> Potongan Base 4 Axis Part 1 pandangan x-z (1-1) .....	75
<b>Gambar 4. 19</b> Potongan base 4 axis Part 1 pandangan x-z (2-2)	75
<b>Gambar 4. 20</b> Base 4 axis part 2 pandangan x-z.....	77
<b>Gambar 4. 21</b> Bean Diagram base 4 axis part 2 pandangan x-z	78
<b>Gambar 4. 22</b> Potongan Part 2 pandangan x-z.....	78
<b>Gambar 4. 23</b> Bean Diagram Part 3 pandangan x-z.....	79
<b>Gambar 4. 24</b> Sisi perpotongan part 3 base 4 axis sumbu x-z ...	80
<b>Gambar 4. 25</b> Potongan Part 3 pandangan x-z (1-1).....	81
<b>Gambar 4. 26</b> Potongan Part 3 pandangan x-z (1-1).....	82
<b>Gambar 4. 27</b> Dimensi b-h.....	84
<b>Gambar 4. 28</b> <i>Free Body Diagram</i> Base Holder Spindle .....	85
<b>Gambar 4. 29</b> Sisi perpotongan base holder spindle part 1.....	86
<b>Gambar 4. 30</b> Potongan base holder spindle part 1 pandangan x-y (1-1).....	87
<b>Gambar 4. 31</b> Potongan base holder spindle part 1 pandangan x-y (2-2).....	88
<b>Gambar 4. 32</b> <i>Free Body Diagram</i> base holder spindle part 1 pandangan y-z .....	89
<b>Gambar 4. 33</b> Sisi perpotongan base holder spindle part 1.....	89
<b>Gambar 4. 34</b> Potongan base holder spindle part 1 pandangan y-z (1-1).....	90
<b>Gambar 4. 35</b> Potongan base holder spindle part 1 pandangan y-z (2-2).....	91
<b>Gambar 4. 36</b> Sisi perpotongan base holder spindle part 2.....	92
<b>Gambar 4. 37</b> Potongan base holder spindle part 2 pandangan x-y (1-1).....	93
<b>Gambar 4. 38</b> Potongan base holder spindle part 2 pandangan x-y (2-2).....	94
<b>Gambar 4. 39</b> Diagram Beam Sumbu X-Z Poros 1 .....	97
<b>Gambar 4. 40</b> Model Analisa.....	97
<b>Gambar 5. 1</b> <i>Fixed Support</i> Poros 1.....	99
<b>Gambar 5. 2</b> <i>Force Load</i> Poros 1.....	100
<b>Gambar 5. 3</b> <i>Meshing</i> Poros 1.....	100

<b>Gambar 5. 4</b> Simulasi Poros 1 .....	101
<b>Gambar 5. 5</b> Letak Tegangan Maksimum Poros 1 .....	101
<b>Gambar 5. 6</b> <i>Fixed Support</i> Poros 2.....	102
<b>Gambar 5. 7</b> <i>Force Load</i> Poros 2.....	103
<b>Gambar 5. 8</b> <i>Meshing</i> Poros 2.....	103
<b>Gambar 5. 9</b> Simulasi Poros 2 .....	104
<b>Gambar 5. 10</b> Letak Tegangan Maksimum Poros 2 .....	104
<b>Gambar 5. 11</b> <i>Fixed Support</i> Base 4 Axis.....	105
<b>Gambar 5. 12</b> <i>Force Load</i> Base 4 Axis.....	106
<b>Gambar 5. 13</b> <i>Meshing</i> Base 4 Axis .....	107
<b>Gambar 5. 14</b> Simulasi Base 4 Axis .....	107
<b>Gambar 5. 15</b> Letak Tegangan Maksimum Base 4 Axis .....	108
<b>Gambar 5. 16</b> <i>Fixed Support</i> Base Holder Spindle.....	109
<b>Gambar 5. 17</b> <i>Force Load</i> Base Holder Spindle.....	109
<b>Gambar 5. 18</b> <i>Meshing</i> Base Holder Spindle.....	110
<b>Gambar 5. 19</b> Simulasi Base Holder Spindle.....	110
<b>Gambar 5. 20</b> Letak Tegangan Maksimum Base Holder Spindle .....	111

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Mechanical Propeties of ASTM A36 .....	18
<b>Tabel 4. 1</b> Spesifikasi Material ASTM A36 steel.....	51
<b>Tabel 4. 2</b> Spesifikasi Material Alumunium.....	52
<b>Tabel 4. 3</b> Spesifikasi Motor ECMA-C10604RS 220V 400W...	52
<b>Tabel 5. 1</b> Perbandingan Perhitungan Manual dengan Simulasi .....	111



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam sebuah perindustrian, khususnya perindustrian bidang manufaktur membutuhkan sebuah alat yang dapat membuat sebuah produk dengan kerumitan dan ketelitian yang tinggi. Salah satu perkembangan teknologi pemesinan saat ini yakni *Computer Numerical control* (CNC) yang dioperasikan secara otomatis, dengan penggabungan antara dua disiplin ilmu antar mesin mekanik dengan elektronika yang dikenal dengan mekatronika, yaitu bidang rekayasa yang berusaha memanfaatkan penggabungan aplikasi mekanik dan elektronik untuk menunjang mesin CNC. Cara pengoperasiannya menggunakan program yang dikontrol langsung oleh computer dengan memasukkan data berupa perintah kode angka, huruf dan symbol menjadi bentuk pergerakan dari suatu pahat atau melaksanakan suatu fungsi tertentu pada mesin CNC.

Terdapat jenis mesin CNC pada umumnya adalah mesin CNC milling yang banyak digunakan untuk melakukan pembentukan benda kerja dengan mengukir biasanya terdapat 3 axis gerakan dan CNC lathe yang digunakan untuk mendapatkan benda bentuk silindris biasanya terdapat 2 axis sumbu gerakan. Berdasarkan benda kerja yang dapat dimachining dengan CNC adalah baja, akrilik, alumunium, kayu dan masih banyak lagi. Penggunaan mesin CNC milling di industri-industri produksi besar atau *manufacturing* sudah menjadi hal wajib, mengingat mesin ini dapat menghasilkan produk massal dengan hasil yang memuaskan.

Secara umum konstruksi mesin perkakas CNC dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya. Jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional yang setara dan sejenis, mesin perkakas CNC lebih unggul baik dari segi ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), fleksibilitas, dan kapasitas produksi. Sehingga di era modern seperti saat ini banyak



industri-industri mulai meninggalkan mesin-mesin perkakas konvensional dan beralih menggunakan mesin-mesin perkakas CNC.

Oleh karena itu, berhubung dengan adanya alat yang telah dibuat sebelumnya, maka dalam tugas akhir ini bermaksud untuk menganalisa struktur pada komponen benda kritis dengan metode elemen mesin yang dibandingkan dengan *software Inventor* pada mesin *Woodworking CNC Machine (WCM) 1000 5 Axis* ini.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dengan adanya latar belakang yang mendorong tugas akhir ini, maka rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan adalah:

1. Bagaimana gaya gaya yang terjadi pada komponen mesin CNC yang menunjang untuk menganalisis struktur rotational axis pada mesin *CNC WCM 1000 5 Axis* ini.
2. Bagaimana perbandingan hasil perhitungan tegangan pada komponen mesin *CNC WCM 1000 5 Axis* berdasarkan elemen mesin dan metode hingga (*Finite Element Method / FEM*) menggunakan *Software Inventor*.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah:

1. Mendapatkan analisis yang sesuai sehingga dapat memastikan struktur yang ditentukan sesuai dengan analisis *rotational axis* pada mesin *CNC WCM 1000 5 Axis* ini.
2. Untuk mengetahui hasil perbandingan perhitungan tegangan berdasarkan analisa elemen mesin dan mengetahui analisa yang terjadi pada komponen mesin *CNC WCM 1000* menggunakan *Software Inventor*.

## **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang berkaitan dengan tugas akhir yang saya angkat kali ini, yakni:

1. Pembahasan ada pada perbandingan perhitungan elemen mesin dengan *Software Inventor* pada mesin *CNC WCM 1000*.
2. Komponen mesin yang dibahas pada mesin ini yaitu rotational axis.
3. Material plat yang digunakan untuk rotational axis yaitu ASTM A36.
4. Ukuran benda kerja yang digunakan (500 x 500 x 50) mm.
5. Benda kerja yang dikerjakan yakni ukiran yang menggunakan kayu jati.
6. Maksimal diameter tool yang digunakan 10 mm.
7. Analisa struktur poros, holder motor, base holder spindle dan base 5 axis pada rotational axis.
8. Tidak membahas vibrasi yang terjadi.
9. Tidak membahas pelumasan pada rotational axis.
10. Tidak membahas perhitungan tentang perpindahan panas yang terjadi pada motor yang memutar poros ballscrew.
11. Tidak membahas perpindahan panas putaran gear, pada belt and pulley.
12. Tidak membahas tentang kapasitas produksi.
13. Tidak membahas ketika mesin bergerak secara dinamik.
14. Tidak membahas struk material komponen.
15. Tidak membahas perhitungan bearing, screw.
16. Tidak membahas perhitungan pasak dan hub.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja dan tegangan pada komponen yang dianggap memiliki beban kritis pada *WCM 1000* dengan berdasarkan analisa elemen mesin.
2. Untuk mengetahui hasil perbandingan perhitungan tegangan berdasarkan analisa elemen mesin dan *Software Inventor*.

## **1.6 Metodologi Penelitian**

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur  
Untuk menambah wawasan perlu studi literature dengan mempelajari buku serta jurnal mengenai dasar CNC dan mengenai instrumentasi yang digunakan pada CNC
2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing.  
Dalam penulisan tugas akhir in perlu mengadakan konsultasi atau respon dari Dosen Pembimbing agar dapat mencapai tujuan yang diharapkan.
3. Observasi Data  
Melakukan observasi data-data terkait perautan dan pembentukan benda kerja melalui internet dan hasil pengamatan langsung dengan masalah yang akan dihadapi di lapangan.
4. Analisa Data  
Menganalisa hasil desain mesin, gaya-gaya yang terjadi pada rotational axis WCM 1000 5 Axis
5. Membuat kesimpulan  
Setelah menyelesaikan laporan tugas akhir dapat menarik kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

## **1.7 Sistematika Laporan**

Agar hasil pemikiran penulis dapat dipahami dan dimengerti secara keseluruhan, maka tugas akhir ini ditulis secara sistematika penulisan sebagai berikut:

## **BAB 1 Pendahuluan**

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan dari tugas akhir ini.

## **BAB II Dasar Teori**

Bab ini menjelaskan mengenai dasar teori yang menunjang pelaksanaan penelitian ini, mulai dari dasar-dasar pemesinan hingga perhitungan mengenai analisa struktur roational axis .

## **BAB III Metodologi**

Bab ini menjabarkan alur proses kegiatan tugas akhir dari awal hingga penyelesaiannya serta spesifikasi peralatan, baik hardware maupun software, cara pengujian atau simulasi, dan data yang diambil.

## **BAB IV Analisa dan Pembahasan**

Bab ini menjelaskan tentang system wiring dan hasil pengujian pada mesin CNC.

## **BAB V Simulasi**

Pada bab ini memaparkan hasil dari simulasi yang dilakukan penulis menggunakan Software Inventor.

## **BAB VI Penutup**

Bab ini berisi kesimpulan hasil tugas akhir serta saran-saran yang bersifat membangun untuk pengembangan selanjutnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

## **LAMPIRAN**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini, penulis banyak menggunakan teori penunjang serta referensi dari hasil dan penelitian sebelumnya. Ini merupakan hal yang sangat penting karena nantinya akan digunakan sebagai dasar dalam perhitungan dan analisa.

#### **2.1 Mesin CNC**

Mesin CNC (*Computer Numerical Control*), atau dalam bahasa Indonesia berarti "komputer kontrol numerik" merupakan sistem otomasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram secara abstrak dan disimpan di media penyimpanan, hal ini berlawanan dengan kebiasaan sebelumnya di mana mesin perkakas biasanya dikontrol dengan putaran tangan atau otomasi sederhana menggunakan cam. Kata NC sendiri adalah singkatan dalam bahasa Inggris dari kata *Numerical Control* yang artinya "kontrol numerik".

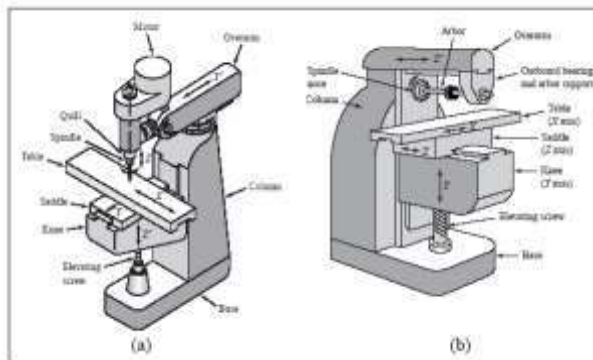
Fungsi CNC dalam hal ini lebih banyak menggantikan pekerjaan operator dalam mesin perkakas konvensional. Misalnya pekerjaan setting tool atau mengatur gerakan pahat sampai pada posisi siap memotong, gerakan pemotongan dan gerakan kembali keposisi awal, dan lain-lain. Demikian pula dengan pengaturan kondisi pemotongan (kecepatan potong, kecepatan makan dan kedalaman pemotongan) serta fungsi pengaturan yang lain seperti penggantian pahat, perubahan transmisi daya (jumlah putaran poros utama), dan arah putaran poros utama, pengeleman, pengaturan cairan pendingin dan sebagainya.

Mesin perkakas CNC dilengkapi dengan berbagai alat potong yang dapat membuat benda kerja secara presisi dan dapat melakukan interpolasi yang diarahkan secara numerik (berdasarkan angka). Parameter sistem operasi CNC dapat diubah melalui program perangkat lunak (*software load program*) yang sesuai. CNC telah banyak dipergunakan dalam industri logam.

Dalam kondisi ini, CNC dipergunakan untuk mengontrol sistem mekanis mesin-mesin perkakas dan pemotong logam. Jadi seberapa tebal dan panjangnya potongan logam yang dihasilkan oleh mesin pemotong logam, dapat diatur oleh mesin CNC. Saat ini tidak hanya industri logam saja yang memanfaatkan teknologi mesin CNC sebagai proses otomatisasinya.

### 2.2.2 Klasifikasi Proses Pemesinan

Proses pemesinan frais adalah proses penyayatan benda kerja dengan alat potong dengan mata potong jamak yang berputar. Proses penyayatan dengan gigi potong yang banyak yang mengitari pahat ini bisa menghasilkan proses pemesinan lebih cepat. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung. Permukaan benda kerja bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk. Mesin (Gambar 2.1) yang digunakan untuk memegang benda kerja, memutar pahat, dan penyayatannya disebut mesin frais (*Milling Machine*).



**Gambar 2.1** (a) mesin frais vertikal tipe *column* and *knee* dan (b) mesin frais horisontal tipe *column* and *knee*

Mesin frais (Gambar 2.2) ada yang dikendalikan secara mekanis (konvensional manual) dan dengan bantuan CNC. Mesin konvensional manual ada biasanya spindelnya ada dua macam yaitu horisontal dan vertikal. Sedangkan mesin frais dengan kendali CNC hampir semuanya adalah mesin frais vertikal .



**Gambar 2.2** Mesin frais *turret* vertikal horizontal

### **2.2.1 Mesin Bubut CNC**

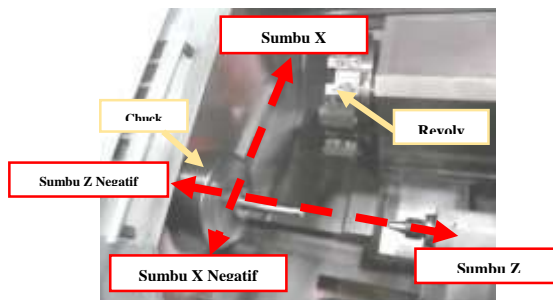
Mesin bubut CNC (Computer Numerically Controlled) merupakan suatu pemanfaatan kemajuan teknologi komputer dimana pada mesin bubut CNC terdapat perpaduan teknologi komputer dengan teknologi mekanik. Dengan perpaduan teknologi tersebut mesin bubut CNC dapat melakukan proses bubut dengan lebih teliti, lebih presisi, dan lebih fleksibel. Dengan keuntungan tersebut industri besar pada saat ini banyak menggunakan mesin bubut CNC karena mesin bubut CNC sangat cocok digunakan untuk produksi massal. Selain itu kualitas dan kuantitas yang dibutuhkan konsumen dapat terpenuhi oleh para produsen (Lilih, dkk., 2003).

Jadi mesin CNC sendiri dapat diartikan sebagai suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik dimana dengan susunan



kode-kode yang sudah distandarisasikan dalam kode permesinan CNC mesin dapat bekerja sesuai dengan perintah kode tersebut (Widarto, dkk., 2008).

Secara umum prinsip kerja mesin bubut CNC sama dengan mesin bubut konvensional. Gerakan dasarnya ke arah melintang dan horisontal dengan sistem koordinat sumbu X dan Z, dan pada pemakannya benda kerja diletakkan dicekam yang berputar dan dimakan oleh pahat yang diam. Arah gerakan pada mesin bubut CNC diberikan lambang sumbu X untuk arah gerakan melintang tegak lurus terhadap sumbu putar dan sumbu Z untuk arah gerakan memanjang yang sejajar sumbu putar (Widarto, 2008).



**Gambar 2.3** Gerakan Sumbu Utama Koordinat X dan Z  
(Sumber : Hilishi, 2015)



**Gambar 2.4** Mesin Bubut CNC Leadwell Turning Center  
(Sumber : Scott Machinery, 2015)

### 2.2.2 Mesin Frais CNC

Mesin CNC Frais adalah mesin perkakas yang banyak digunakan untuk melakukan pembentukan benda kerja, contohnya seperti mengukir benda kerja. Hasil benda kerja mesin ini memiliki permukaan yang rata atau bentuk – bentuk lain yang spesifik (profil, radius, silindris, dan lain-lain) dengan ukuran dan kualitas tertentu. Mesin ini beroperasi dengan cara, meja mesin bergerak menuju mata pahat yang berputar. Terdapat 3 gerakan pada proses kerja mesin ini, yaitu yang pertama merupakan gerakan berputarnya alat potong pada spindle utama. Gerakan kedua yaitu, pemakanan (*feeding*) pada saat proses pemotongan benda kerja, dan yang terakhir adalah gerakan pengaturan (*depth of cut*). Metode pemotongan pada mesin ini ditentukan berdasarkan arah relatif gerak meja mesin terhadap putaran pisau. Dalam pengoperasiannya, mesin ini membutuhkan pelumas berupa oli atau coolant yang berguna sebagai pendingin mata pahat agar tidak cepat aus.

Mesin frais yang digunakan dalam proses pemesinan ada tiga jenis , yaitu :

1. Column and knee milling machines
2. Bed type milling machines
3. Special purposes

Kemampuan melakukan berbagai jenis pemesinan adalah keuntungan utama pada mesin jenis ini. Pada dasarnya pada mesin jenis ini meja (*bed*), sadel, dan lutut (*knee*) dapat digerakkan. Beberapa asesoris seperti cekam, meja putar, kepala pembagi menambah kemampuan dari mesin frais jenis ini. Walaupun demikian mesin ini memiliki kekurangan dalam hal kekakuan dan kekuatan penyayatannya. Mesin frais pada saat ini telah banyak yang dilengkapi dengan pengendali CNC untuk meningkatkan produktivitas dan fleksibilitasnya. Dengan menggunakan kendali CNC maka waktu produksi bisa dipersingkat, bentuk benda kerja sangat bervariasi.



**Gambar 2.5** Mesin frais tipe *Column* and *knee* dan mesin frais tipe *bed*

Selain mesin frais manual, pada saat ini telah dibuat mesin frais dengan jenis yang sama dengan mesin konvensional tetapi menggunakan kendali CNC (Computer Numerically Controlled). Dengan bantuan kendali CNC, maka mesin frais menjadi sangat fleksibel dalam mengerjakan berbagai bentuk benda kerja, efisien waktu dan biaya yang diperlukan, dan produk yang dihasilkan memiliki ketelitian tinggi.



**Gambar 2.6** Mesin frais tipe khusus (*special purposes*). Mesin frais dengan dua buah spindle



**Gambar 2.7** Mesin frais CNC tipe bed (Bed type CNC miling machine)

## **2.3 Komponen Mesin CNC**

Terdapat beberapa komponen yang umum terdapat pada mesin CNC yakni

### **2.6.2 Main Spindle**

*Spindel* mesin *frais* adalah bagian dari sistem utama mesin *frais* yang bertugas untuk memegang dan memutar *cutter* hingga menghasilkan putaran atau gerakan pemotongan. Seperti halnya meja mesin, *spindle* juga digerakkan oleh motor. *Spindle* inilah yang memegang arbor tool dengan bantuan udara bertekanan.



**Gambar 2.8** Main Spindle

### 2.6.3 Servo Motor

Motor servo adalah sebuah perangkat atau aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup (servo), sehingga dapat di set-up atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor. motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo.



**Gambar 2.9** Servo Motor

### 2.6.4 Coolant House

*Coolant house* adalah pipa khusus yang digunakan untuk distribusi coolant dari *coolant tank* untuk di semprotkan pada tool dan benda kerja. Setiap mesin pasti dilengkapi dengan system pendinginan untuk *tool* dan benda kerja.



**Gambar 2.10** *Coolant House*

### **2.6.5 Coolant Tank**

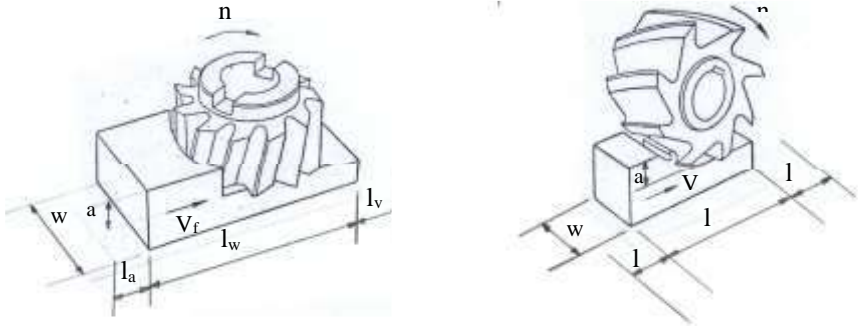
Setiap mesin CNC memiliki tangki khusus untuk penampungan *coolant* (pendingin) dengan kapasitas yang berbeda-beda, berkisar antara 200 hingga 700 liter, tergantung dari ukuran mesin. Alur yang terjadi pada proses pendinginan benda kerja oleh *coolant* adalah sebagai berikut, *coolant* pada tangki ditarik oleh pompa menuju *inlet* yang terpasang pada *blok spindle* mesin melalui selang *fleksible*. *Inlet* yang terpasang pada *blok spindle* melalui selang *fleksible*. *Inlet* akan mengeluarkan *coolant* ke arah benda kerja atau *tool* (tergantung arah yang diinginkan operator). *Coolant* tersebut kemudian akan mengalir kembali ke dalam tangki *coolant* yang berada di bagian bawah mesin.



**Gambar 2.11** *Coolant Tank*

## 2.4 Elemen Dasar Proses Frais

Elemen dasar proses frais hampir sama dengan elemen dasar proses bubut. Elemen diturunkan berdasarkan rumus berikut :



**Gambar 2.12** Gambar skematis proses frais vertikal dan frais horizontal

Keterangan :

*Benda kerja :*

- w = lebar pemotongan; mm
- lw = panjang pemotongan ; mm
- lt = lv+lw+ln ; mm
- a = kedalaman potong, mm

*Pahat Frais :*

- d = diameter luar ; mm
- z = jumlah gigi (mata potong)
- $\gamma_r$  = sudut potong utama (  $90^\circ$ ) untuk pahat frais selubung)

*Mesin frais :*

- n = putaran poros utama ; rpm
- vf = kecepatan makan ; mm/putaran

1) Kecepatan potong :

$$V = \frac{\pi dn}{1000}; m/menit \dots \dots \dots (3.2)$$

2) Gerak makan per gigi :

$$f_z = \frac{v_f}{z.n} ; \frac{mm}{menit} \dots \dots \dots (3.3)$$

3) Waktu pemotongan :

$$t_c = \frac{l_t}{v_f} ; \text{menit} \dots \dots \dots (3.4)$$

4) Kecepatan penghasil beram :

$$Z = \frac{v_f.a.w}{1000} \frac{cm^3}{menit} \dots \dots \dots (3.5)$$

Rumus-rumus tersebut di atas digunakan untuk perencanaan proses frais. Proses frais bisa dilakukan dengan banyak cara menurut jenis pahat yang digunakan dan bentuk benda kerjanya. Selain itu jenis mesin frais yang bervariasi menyebabkan analisa proses frais menjadi rumit. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan bukan hanya kecepatan potong dan gerak makan saja, tetapi juga cara pencekaman, gaya potong, kehalusan produk, getaran mesin dan getaran benda kerja. Dengan demikian hasil analisa/perencanaan merupakan pendekatan bukan merupakan hasil yang optimal.

## 2.5 Material yang Digunakan

Dalam merencanakan suatu struktur, harus ditetapkan prosedur pilihan suatu material yang sesuai dengan kondisi aplikasinya. Kekuatan bahan sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi. Selain itu juga kekuatan bahan dapat dijadikan acuan perbandingan terhadap tegangan yang terjadi pada hasil simulasi, dapat diambil kesimpulan/analisa tidaknya rancangan yang telah dibuat.

Dalam tugas akhir ini material yang digunakan berupa plat ASTM A36 sebagai struktur mekanik. Material plate ASTM A36 banyak digunakan sebagai base plate yang mempunyai kekuatan dan kualitas sangat baik. Berikut spesifikasi dari ASTM A36 :



**Tabel 2.1** Mechanical Propeties of ASTM A36

No.	Properties	Nilai	Keterangan
<b>Physical Properties</b>			
1.	Density	77.85 g/cm <sup>3</sup>	
<b>Mechanical Properties</b>			
2.	Tensile strength, Ultimate	400-550 MPa	
3.	Yield Strength	250 MPa	
4.	Elongation	20% 23%	In 200 mm In 50 mm
5.	Modulus of Elasticity	200 GPa	
6.	Bulk Modulus	140 GPa	Typical Steel
7.	Poissons Rotio	0.26	
8.	Shear Modulus	79.3 GPa	
<b>Component Element Properties</b>			
9.	Carbon, C	0.29%	
10.	Copper, Cu	≥0.20%	
11.	Iron, Fe	98%	
12.	Manganese, Mn	0.80-1.2%	
13.	Phosphorous, P	0.04%	
14.	Silicon, Si	0.15-0.40%	
15.	Sulfur, S	0.05%	

Sumber: <http://www.matweb.com>

## 2.6 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Analisis / FEA*)

Metode elemen hingga (*Finite Element Analisis*) adalah sebuah metode penyelesaian permasalahan yang menggunakan pendekatan dengan membagi-bagi (diskretisasi) benda yang akan dianalisa kedalam bentuk elemen-elemen yang berhingga yang saling berkaitan satu sama lain.

Permasalahan teknik biasanya mendekati dengan sebuah model matematik yang berbentuk persamaan *differential*. Setiap model matematik tersebut memiliki persamaan-persamaan matematik lainnya yang ditentukan berdasarkan asumsi dan kondisi aktual yang disebut kondisi batas (*boundary condution*).

Ada 4 tipe analisa engineering yang biasa dilakukan dengan menggunakan bantuan metode FEA, yaitu:

- **Structural**, terdiri dari model linier dan non-linier. Linier menggunakan parameter yang sederhana dan mengasumsikan bahwa material tidak terdeformasi secara plastis. Non-linier cenderung menekankan pada pemberian beban hingga melampaui kemampuan elastis suatu material. Pada analisa ini umumnya digunakan pembebanan statis, yang bisa berupa beban akibat dari gaya, beban suatu benda, orang, dan berat dari struktur itu sendiri.
- **Getaran**, digunakan untuk menguji suatu desain terhadap sebuah getaran acak, beban kejut, dan impact. Masing-masing hal yang disebutkan tersebut bisa terjadi dan mempengaruhi frekuensi natural dari benda, yang akan menyebabkan resonansi, dan pada akhirnya kegagalan.
- **Kelelahan**, analisa ini dapat membantu perancang untuk memprediksi umur pakai dari suatu benda atau struktur dengan menunjukkan efek dari pembebanan berulang (secara siklus) terhadap rancangan yang terkait. Analisis ini mampu menunjukkan area yang kritis dan memungkinkan terjadi retakan. Kegagalan karena leleh juga mampu menunjukkan toleransi beban yang mampu diterima. Analisa ini umumnya menggunakan pembebanan dinamis, yang mana nilai atau besarnya berubah-ubah seiring berjalannya waktu. Apabila waktu perubahan nilai beban ini cukup lama, maka bisa dianggap sebagai beban statis, namun apabila perubahan berlangsung cukup cepa, aksi / respon dari pembebanan tersebut pasti ditentukan dengan analisa dinamis.

### 2.8.2 Meshing

Pembagian model menjadi elemen-elemen yang lebih kecil biasa disebut dengan proses meshing. *Meshing* ini biasa dilakukan sebelum menentukan *boundary condution* dari sebuah rencana analisa. Semakin kecil nilai meshing maka semakin kecil pula pembagian elemen pada model sehingga hasilnya semakin akurat dan

sebaliknya untuk nilai meshing yang semakin besar maka pembagian elemen pada model hasilnya kurang akurat.

Meshing adalah bagian penting dari analisa. Karena apabila tidak mendekati meshing buruk, maka akan menghasilkan hasil yang berbeda atau tidak mendekati kondisi aktualnya. Kualitas meshing bisa 0.4, dikatakan sedang jika mempunyai nilai rata-rata 0.5-0.7, dan dikatakan jelek jika mempunyai rata-rata 0.8-1.0, meshing merupakan representasi dari metode elemen hingga.

### 2.8.3 Boundary Condition

*Boundary Condition* merupakan batas kondisi atau batasan yang digunakan saat simulasi. *Boundary condition* pada analisa statik, ditentukan beban-beban yang bekerja pada geometri dan tumpuan apa saja yang akan digunakan pada geometri tersebut. *Boundary Condition* sama penting halnya dengan *meshing*, karena *Boundary Condition* menentukan hasil dari simulasi.

## 2.7 Kesetimbangan Benda Tegar

Sebuah partikel berada dalam kesetimbangan jika dia tetap diam atau bergerak dengan kecepatan tetap. Agar terjadi demikian, maka hal yang perlu dan cukup untuk mensyaratkan bahwa gaya resultan yang bekerja pada partikel harus sama dengan nol. Jadi persamaan kesetimbangan untuk benda tegar:

$$\sum F = 0 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\sum M = 0 \dots\dots\dots (2.2)$$

persamaan tersebut menyatakan bahwa sebuah benda tegar akan berada dalam kesetimbangan asalkan penjumlahan semua gaya eksternal yang bekerja pada benda tersebut sama dengan nol dan jumlah momen-momen gaya eksternal di sekitar suatu titik juga sama dengan nol. (Hibbler, R. 1998 Mekanika Teknik Staika Judul 1)

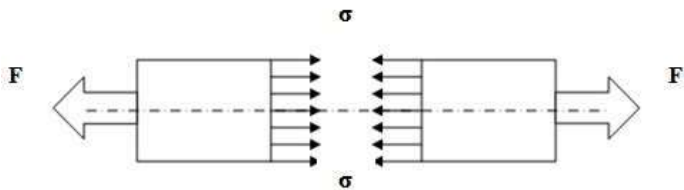
## 2.8 Tegangan

Salah satu masalah fundamental dalam mechanical engineering adalah menentukan pengaruh beban pada komponen mesin atau peralatan. Intensitas gaya dalam pada suatu benda didefinisikan sebagai tegangan (*stress*). Untuk menjaga prinsip kesetimbangan, tentu pada penampang tersebut terdapat gaya-gaya dalam yang bekerja. Setiap gaya yang bekerja pada suatu material, selalu menimbulkan reaksi berupa gaya dalam dari struktur material (yang besarnya sama tapi berlawanan arah). Bekerjanya gaya ini pada penampang permukaan benda mengakibatkan terjadinya tegangan di dalam struktur material benda, karena gaya akan terbagi rata di setiap satuan luas bidang penampangnya. Besarnya gaya yang terjadi akibat pembebanan, disebut sebagai tegangan /stress ( $\sigma$ ).

### 2.8.1 Tegangan Tarik (*Tensile Stress*)

Tegangan tarik ( $\sigma$  tarik) terjadi akibat bekerjanya gaya tarik ( $F_{\text{tarik}}$ ) pada satuan luas penampang ( $A$ ) struktur material, sehingga bendanya mengalami perpanjangan.

$$\sigma_{\text{tarik}} = \frac{F_{\text{tarik}}}{A} \dots \dots \dots (2.3)$$



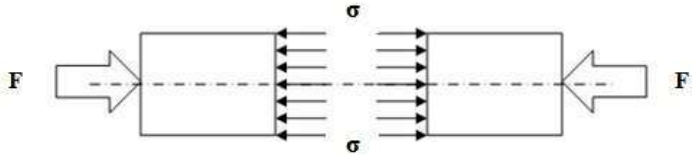
Gambar 2.13 Gaya Tarik

### 2.8.2 Tegangan Tekan (*Compressive Stress*)

Tegangan tekan ( $\sigma$  tekan) terjadi akibat kerja suatu gaya tekan ( $F_{\text{tekan}}$ ) pada satuan luas penampang ( $A$ ) struktur

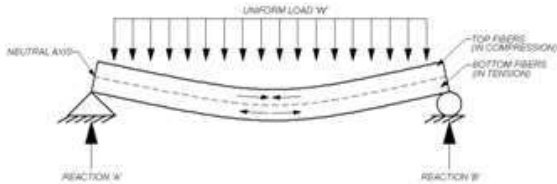
material elemen mesin, sehingga bendanya mengalami perpendekan.

$$\sigma_{tekan} = \frac{F_{tekan}}{A} \dots \dots \dots (2.4)$$



**Gambar 2.14** Gaya Tekan

### 2.8.3 Tegangan Bending



**Gambar 2.15** Gaya Bending

Tegangan bending dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M.c}{I} \quad \text{atau} \quad \sigma = \frac{M}{I/c} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

- M = momen bending
- I/c = modulus penampang
- I = Inersia Penampang
- C = Sumbu netral

Biasanya rasio I/c dilambangkan dengan Z.

#### 2.8.4 Tegangan Ijin, Faktor Keamanan

Tegangan ijin (*Ultimate stress*) adalah tegangan satuan terbesar suatu bahan yang dapat ditahan tanpa menimbulkan kerusakan. Tegangan ijin (*Allowable stress*) adalah tegangan yang tidak boleh dilampaui di bagian manapun dalam struktur.

Faktor keamanan (*Safety Factor*) adalah faktor yang mengevaluasi agar elemen mesin terjamin aman dengan dimensi yang minimum atau kecil. Beberapa faktor yang mempengaruhi *safety factor*, adalah :

- a. Variasi sifat mekanik material
- b. Jenis beban
- c. Pengaruh pengerjaan
- d. Pengaruh perlakuan panas yang diberikan pada material
- e. Pengaruh pelumasan dan umur pakai dari elemen mesin
- f. Pengaruh waktu dan lingkungan
- g. Untuk penggunaan yang khusus
- h. Keamanan manusia

Safety factor berdasarkan tegangan luluh sebagai berikut (Joseph P Vidotic) :

1.  $sf = 1,25 - 1,5$  : kondisi terkontrol dan tegangan yang bekerja dapat ditentukan dengan pasti
2.  $sf = 1,5 - 2,0$  : bahan yang sudah diketahui, kondisi lingkungan beban dan tegangan yang tetap dan dapat ditentukan dengan mudah.
3.  $sf = 2,0 - 2,5$  : bahan yang beroperasi secara rata-rata dengan batasan beban yang diketahui.
4.  $sf = 2,5 - 3,0$  : bahan yang diketahui tanpa mengalami tes. Pada kondisi beban dan tegangan rata-rata.
5.  $sf = 3,0 - 4,5$  : bahan yang sudah diketahui. Kondisi beban, tegangan dan lingkungan yang tidak pasti.
6. Beban berulang : Nomor 1 s/d 5
7. Beban kejut : Nomor 3 – 5
8. Bahan Getas : Nomor 2 – 5 dikalikan dengan 2

Faktor Keamanan/ Safety Factor berdasarkan jenis beban adalah (Dobrovolsky):

1. Beban Statis : 1,25 – 2
2. Beban Dinamis : 2 – 3
3. Beban Kejut : 3 – 5

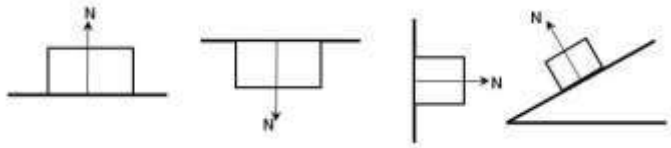
$$\text{Tegangan Ijin } (\sigma_{ijin}) = \frac{\text{tegangan luluh } (\sigma_y)}{\text{faktor keamanan } (n)} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Faktor keamanan } (n) = \frac{\text{tegangan luluh}}{\text{tegangan maksimum}} \dots\dots\dots(2.7)$$

## 2.9 Perhitungan Gaya

### 2.8.1 Gaya Normal dan Bidang Gaya Normal (Normal Diagram)

Pengertian gaya normal adalah gaya yang diakibatkan oleh benda yang bersentuhan dengan permukaan bidang sentuh yang arahnya tegak lurus dengan bidang.



**Gambar 2.16** Gaya Normal

### 2.8.2 Gaya Geser (Shear Force Diagram)

Kita akan mempelajari pengaruh internal akibat beban eksternal yang bekerja pada balok. Jika sebuah plat dikenai beban luar dan mengakibatkan reaksi, maka akan terjadi bending dan tegangan dalam. Tegangan ini disebut tegangan geser dan tegangan bending.

Metode yang digunakan untuk menentukan gaya geser dan momen bending dengan memerhatikan kondisi kesetimbangan. Reaksi yang timbul akibat gaya eksternal pertama harus dihitung. Kita ingat jika sebuah plat dalam kesetimbangan, setiap bagian (segmen) balok haruslah dalam kesetimbangan pula.

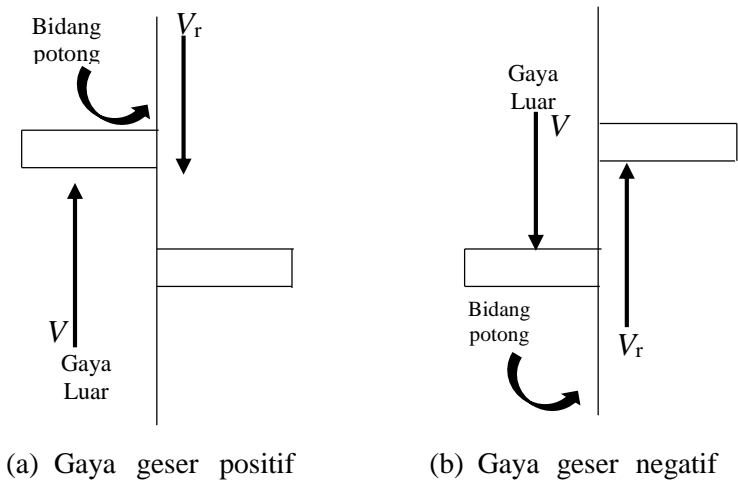
Tegangan yang terjadi pada balok bervariasi sepanjang  $m$  balok. Langkah awal dalam menghitung tegangan yang terjadi adalah membuat diagram gaya geser dan momen bending.  $V(x)$  dan  $M(x)$ , dan menggambarinya (plot) sepanjang  $L$  plat.

Gaya geser merupakan jumlah dari komponen tegak dari beban luar yang bekerja pada penampang sebuah benda. Definisi gaya geser ini bisa dinyatakan secara matematis yaitu:

$$V_{(x)} = (\sum Y) \dots \dots \dots (2.8)$$

Tahanan  $V_r$  yang ditimbulkan oleh segmen balok selalu sama tetapi arahnya berlawanan dengan gaya geser  $V$ . Ketika menghitung  $V$ , gaya atau beban yang bekerja ke atas dianggap positif. Hukum tanda ini menghasilkan pengaruh seperti gambar dibawah ini:

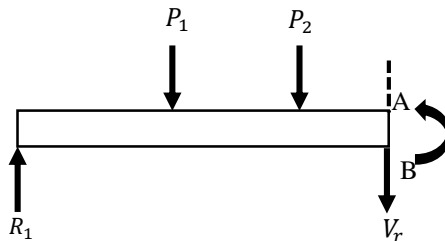




**Gambar 2.17** Tanda gaya geser

### 2.8.3 Momen dan Bidang Momen (Bending Moment Diagram)

Untuk kesetimbangan diagram bena bebas, jumlah momen juga harus setimbang, karena  $R_1$  dan  $V_r$  sama, menghasilkan kopel  $M$  yang sama dengan  $R_1x$  dan disebut momen bending dan segmen penampang menimbulkan momen tahanan  $M_r$

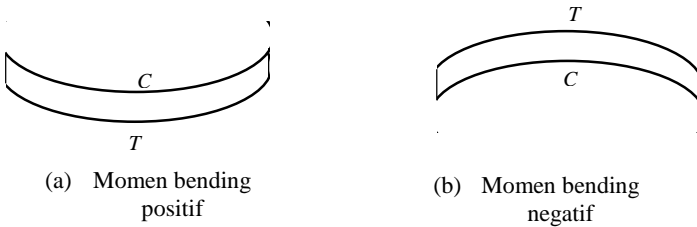


**Gambar 2.18** Definisi Momen Bending

Momen Bending sebagai jumlah momen semua gaya yang bekerja terhadap penampang balok dan dinyatakan secara matematis sebagai:

$$M_{(x)} = (\sum M) \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan mengacu gambar 2.22, konvensi tanda momen bending adalah momen bending positif apabila momen menghasilkan lenturan balok cekung ke atas. Begitu pula sebaliknya, seperti Gambar 2.23. Kita memilih pemakaian konvensi ekuivalen yang menyatakan bahwa gaya luar yang bekerja ke atas menghasilkan momen bending positif terhadap setiap segmen, sementara gaya ke bawah menghasilkan momen bending negative.

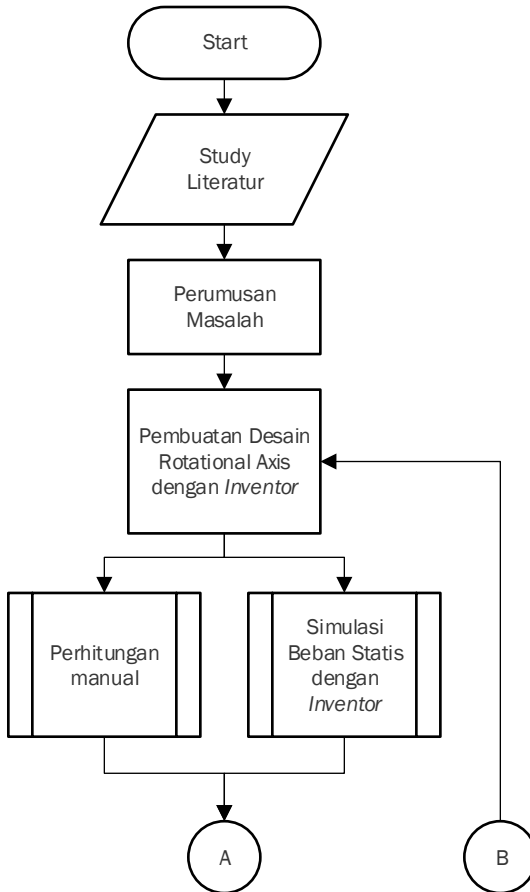


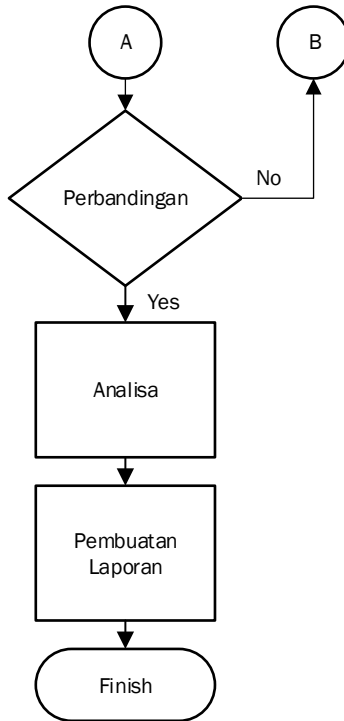
**Gambar 2.19** Tanda Momen Bending

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 *Flowchart* Penelitian





**Gambar 3.1** *Flow Chart* Penelitian

Proses dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini melalui beberapa tahap sebagai berikut:

**a. Studi Literatur**

Pada studi literatur meliputi kegiatan mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan permasalahan mengenai simulator CNC (*Computer Numerically Controlled*) dan perhitungan komponen rotational axis pada WCM 1000 5 Axis. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber antara lain buku / *text book*, diktat yang mengacu pada referensi, publikasi-publikasi ilmiah, tugas akhir dan penelitian yang berkaitan dan media internet.

## **b. Perumusan Masalah**

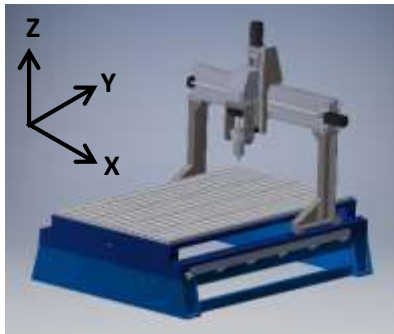
Setelah dilakukan studi literatur, banyak informasi yang didapat. Informasi yang didapat antara lain dimensi, konstruksi, spesifikasi benda kerja, spesifikasi motor driver, dan spesifikasi material yang digunakan. Dengan adanya informasi yang telah didapat, timbul suatu permasalahan. Permasalahan yang timbul antara lain dimensi dan konstruksinya sehingga menimbulkan sebuah pemikiran dan solusi dari permasalahan tersebut.

Masalah ini menimbulkan sebuah ide baru dimana simulator CNC. Bagaimana desainnya, proses manufaktur, dan seberapa kuat material yang digunakan pada rotational axis *woodworking CNC machine* berbahan aluminium profil dan baja profil untuk produksi bahan berdimensi 500 x 500 x 50 mm.

## **c. Pembuatan Desain dengan Inventor**

Setelah diketahui parameter dan dimensi dalam menentukan design mekanik yang digunakan serta aspek yang lainnya selanjutnya yaitu pembuatan design alat dengan menggunakan *inventor*, dalam mendesain menggunakan *Software Inventor* juga harus diperhatikan hal-hal tertentu mengenai design *machine*. Desain yang dimaksud adalah sebagai berikut:

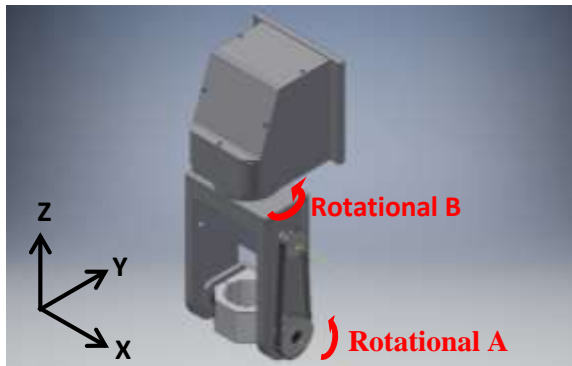
### 1. Gambar WCM 1000 5 Axis (3D)



**Gambar 3.2** *Assembly WCM 1000 5 Axis*

Dengan inovasi atau perkembangan yang telah dilakukan pada mesin WCM 1000 sebelumnya, yakni hanya terdapat 3 Axis, kali ini akan ditambahkan dengan rotational axis. Dimana penambahan rotational axis ini berfungsi untuk meningkatkan nilai kepresisian dan nilai kerumitan yang tinggi. Pergerakan tool atau cutter pada mesin WCM 1000 5 Axis itu sendiri terletak pada sumbu x dengan pergerakannya ke kanan atau ke kiri, sedangkan sumbu y pergerakannya ke depan ataupun ke belakang, dan sumbu z pergerakannya ke atas atau ke bawah.

## 2. Gambar desain Rotational Axis (3D)



**Gambar 3.3** Desain Rotational Axis

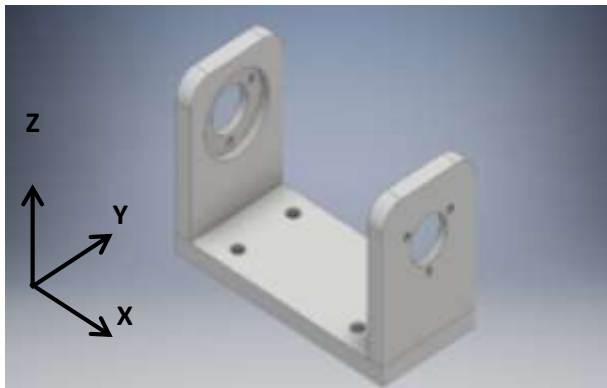
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa perputaran Rotational A bergerak terhadap sumbu x, yang terletak pada perputaran poros 1 dan poros 2 yang yang bersentuhan langsung dengan base holder spindle. Sedangkan Rotational B bergerak terhadap sumbu z, yang terletak pada perputaran poros yang menghubungkan base 3 Axis dengan base 4 Axis.

3. Gambar Part atau Komponen  
3.1 Poros 1 dan poros 2



**Gambar 3.4** Part Poros (*untuk gambar detail ada dilampiran*)

3.2 Base Holder Spindle



**Gambar 3.1** Part base holder spindle (*untuk gambar detail ada dilampiran*)



### 3.3 Base 4 Axis



**Gambar 3. 2** Part Base 4 Axis (*untuk gambar detail ada dilampiran*)

#### **d. Perhitungan secara manual**

Pada tahap ini dilakukan perhitungan poros, base holder spindle dan base 4 axis pada struktur *Rotational Axis WCM 1000*, yaitu dilakukan perhitungan statika, elemen mesin yang bekerja.

#### **e. Simulasi Beban Statis Inventor**

Setelah diketahui parameter yang digunakan untuk melakukan simulasi secara numerik, kemudian dilakukan simulasi poros 1, poros 2, base holder spindle dan base 4 axis menggunakan *software Inventor*. Dimana hasil dari simulasi ini akan didapat data elemen hingga (FEM), dan data dari elemen hingga akan dibandingkan dengan perhitungan manual yang telah dilakukan sebelumnya.

#### **f. Perbandingan**

Pada bagian ini hasil simulasi yang menggunakan *software inventor* dengan hasil perhitungan manual akan dibandingkan.

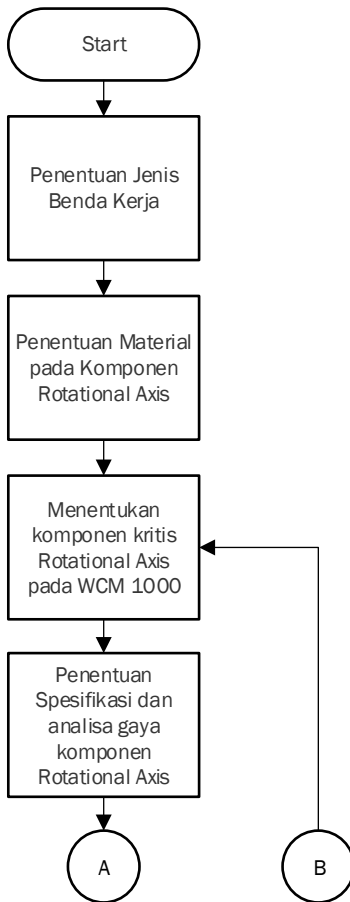
**g. Analisa**

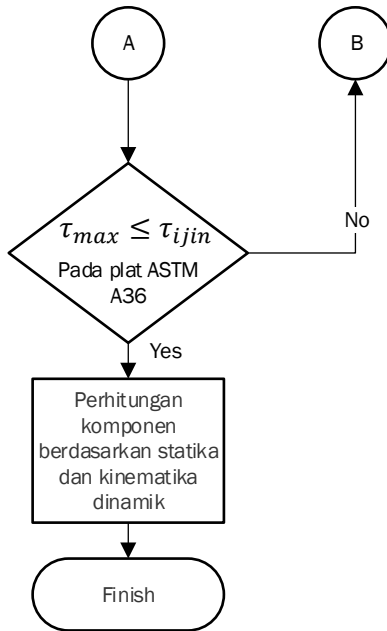
Menganalisa hasil perhitungan manual dengan hasil simulasi. Apabila terdapat selisih dari antara perhitungan manual dengan perhitungan simulasi, bisa saja dari tegangan ijin, *safety factor*, atau bisa pula dari dimensi desain. Dan desain dapat dikatakan aman apabila pada simulasi dengan *software Inventor* tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan materialnya, dengan menggunakan *safety factor*.

**h. Pembuatan Laporan**

Tahap ini merupakan ujung dari pembuatan mesin CNC WCM 1000 yaitu dengan melakukan perhitungan serta analisa yang kemudian dapat ditarik kesimpulan yang didapat dari hasil peneliatan sebelumnya yang telah dilakukan.

### 3.2 Flow Chart Analisa Gaya dan Perhitungan





**Gambar 3.7** *Flow Chart* Analisa Gaya

**a. Penentuan Jenis Benda Kerja**

Menentukan jenis benda kerja apa yang akan digunakan untuk diterapkan atau diaplikasikan pada WCM 1000 5 Axis ini. Pada penelitian ini jenis benda kerja yang diterapkan berupa kayu jati.

**b. Penentuan material pada komponen rotational Axis WCM 1000**

Setelah dilakukan pemilihan atau penentuan jenis benda pa yang akan dikerjakan, langkah selanjutnya yakni penentuan material apa yang mampu untuk mengerjakan jenis benda kerja berupa kayu jati.

**c. Menentukan Komponen Kritis Rotational Axis pada WCM 1000**

Setelah ditentukan jenis material komponen material apa yang akan digunakan, langkah selanjutnya adalah menentukan dimana saja komponen kritis pada Rotational Axis WCM 1000 5 Axis ini. Penentuan komponen kritis ini merupakan anggapan untuk beban yang jika dikenakan pada komponen apa saja pada rotational axis yang secara terus menerus maka bisa mengakibatkan perubahan bentuk.

**d. Penentuan Spesifikasi dan Analisa Gaya pada Rotational Axis WCM 1000**

Penentuan spesifikasi dan analisa gaya ini merupakan penentuan spesifikasi dimana berupa tegangan Tarik, tegangan geser yang terdapat pada material tersebut. Sedangkan analisa gaya merupakan komponen yang dihitung akan diuraikan gaya yang terjadi pada komponen tersebut. Gaya gaya yang terjadi pada komponen akan diuraikan sesuai *free body diagram* dan diagram momen.

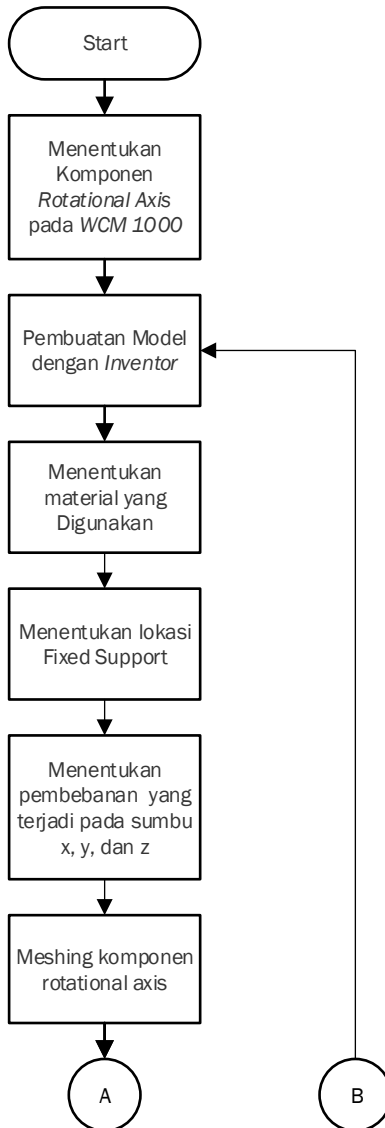
**e. Tegangan maksimal lebih kecil daripada tegangan ijin**

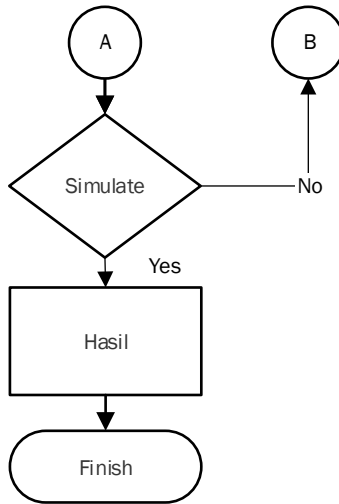
Tegangan maksimum akibat gaya atau beban maksimum yang mengenai benda, sangat menentukan sekali bagi keberhasilan material benda untuk bertahan dari kerusakan. Karena akan menjadi batasan maksimum bagi kekuatan struktur material benda untuk bertahan dari pembebanan lebih (diluar kondisi normal). Oleh karena itu untuk menghindari kegagalan material dalam menghadapi pembebanan, besarnya tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi kekuatan struktur material . Sehingga pemilihan besar kekuatan bahan material, ditentukan sekali oleh besarnya tegangan akibat beban maksimum. Dalam perhitungan, besar kekuatan material dinyatakan sebagai tegangan izin bahan atau kekuatan bahan ( $\sigma$  ijin)

**f. Perhitungan Komponen berdasarkan Statika dan kinematika dinamika**

Komponen yang diketahui gaya yang terjadi yang didapat dari pembagian gaya pada *free body diagram* dan diagram *moment*. Maka kemudian setelah itu dapat dihitung dengan perhitungan statika, mulai dari menghitung momen torsi dan gaya-gaya yang bekerja,

### 3.3 Flow Chart Simulasi Inventor





**Gambar 3.8** *Flow Chart* Simulasi Inventor

Berikut penjelasan mengenai Flowchart Simulasi menggunakan *Software Inventor*:

**a. Menentukan Komponen Rotational Axis WCM 1000**

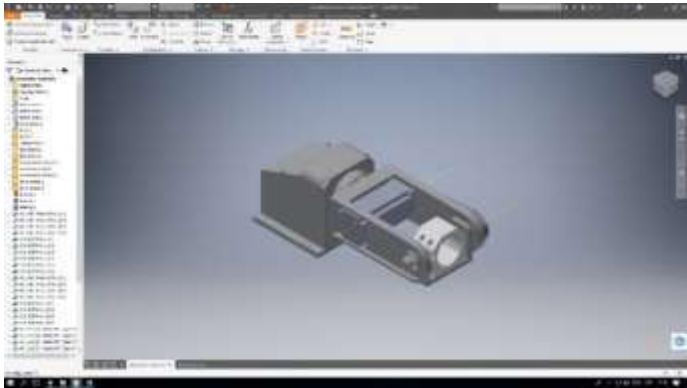
Pada tahap ini dilakukan penentuan komponen yang akan dipakai untuk simulasi menggunakan *software Inventor*.

**b. Pembuatan Model dengan Inventor**

Pada tahap ini dilakukan pemodelan komponen menggunakan *software Inventor* yang nantinya akan mendapatkan bentuk komponen untuk di simulasi.

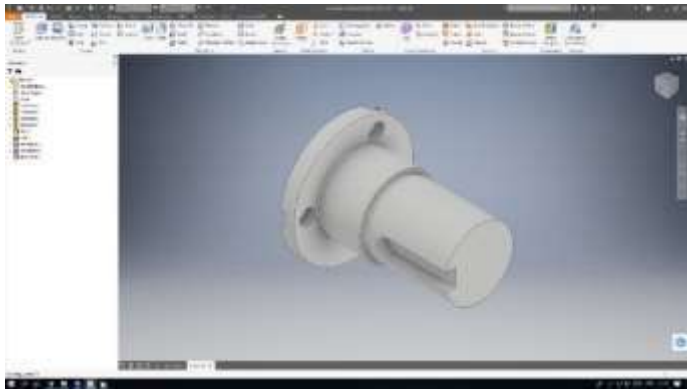


a. Rotational Axis



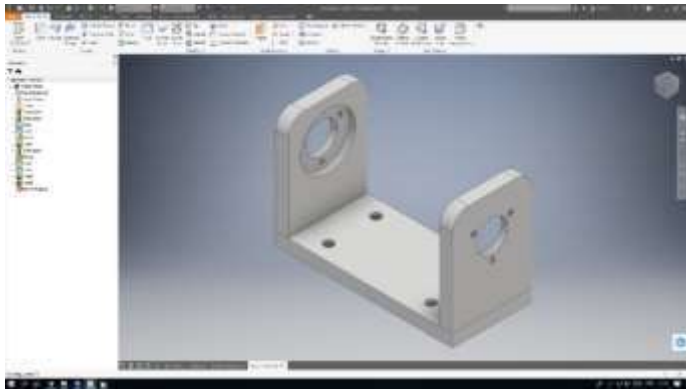
**Gambar 3.9** Model dengan *Inventor*

b. Poros 1 dan poros 2



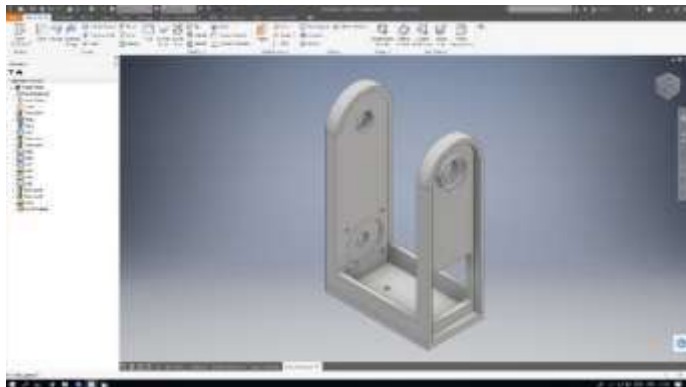
**Gambar 3.10** Model Poros Holder Spindle dengan *Inventor*

c. Holder Spindle



**Gambar 3.11** Model Holder Spindle dengan *Inventor*

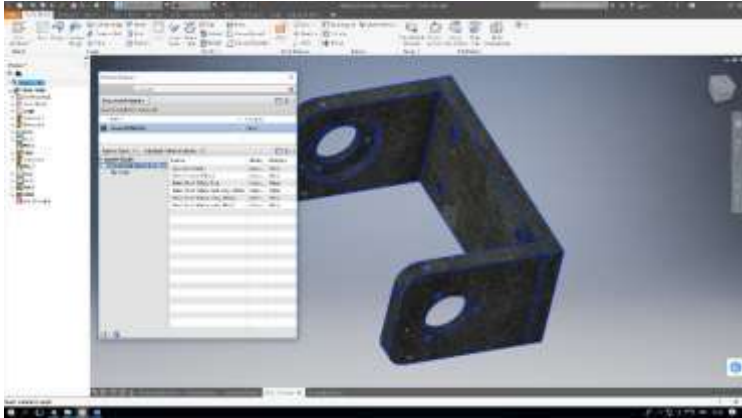
d. Base 4 Axis



**Gambar 3.12** Model Base 4 Axis dengan *Inventor*

**c. Menentukan material yang digunakan**

Pada tahap ini klik *material* pada *toolbar* untuk memilih material yang akan di simulasikan. Material yang dipilih yaitu ASTM A36 seperti dibawah ini,

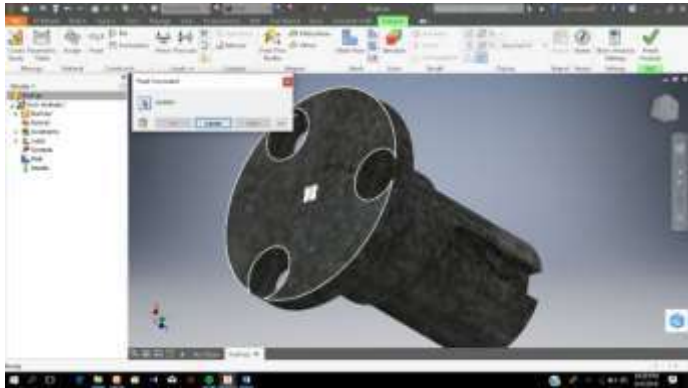


**Gambar 3.13** Pemilihan Material ASTM A36

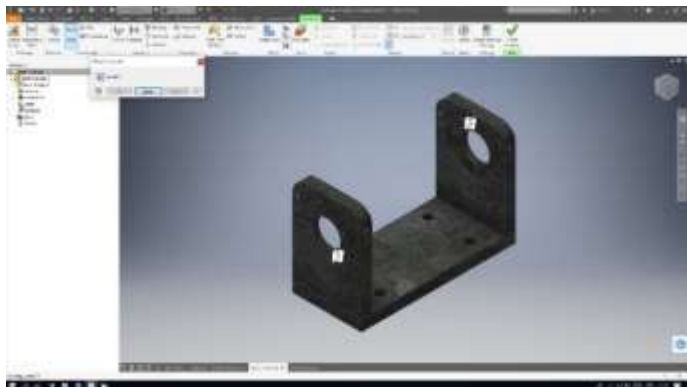
kemudian untuk tambahkan material baru dengan mengetik pada kolom *material browser* dan mengisi material apa yang akan digunakan, lalu akan diketahui properties seperti *density*, *tensile yield strength*, *compressive yield strength*, *tensile ultimate strength* hal ini untuk menunjang analisa agar semakin mendekati kondisi kenyataan. Kemudian untuk memasukkan material yang diinginkan, klik komponen lalu *klik adds to document*.

#### **d. Menentukan lokasi fixed support**

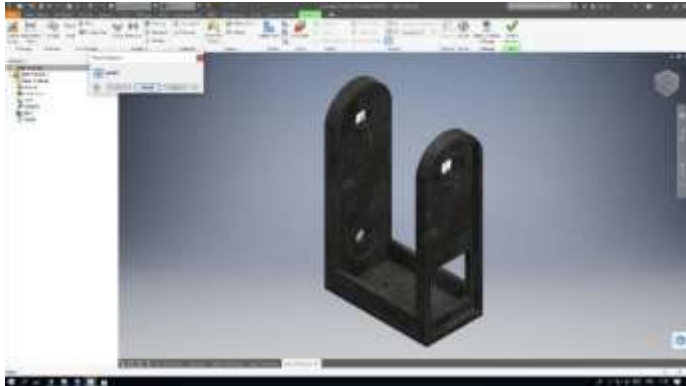
Pada tahap ini komponen yang akan disimulasi merupakan tempat tumpuan perletakan kontruksi untuk meneruskan gaya – yang bekerja pada struktur utama. Dengan mengetahui besar momen bending maka akan di dapatkan besar tegangan yang terjadi.



**Gambar 3.14** Penentuan fixed Support pada Poros Holder Spindle



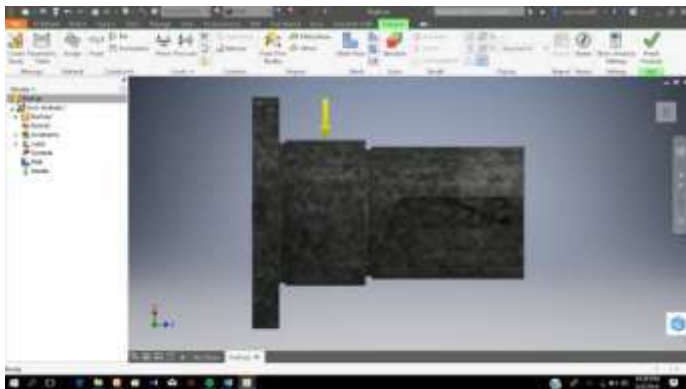
**Gambar 3.15** Penentuan fixed Support pada Holder Spindle



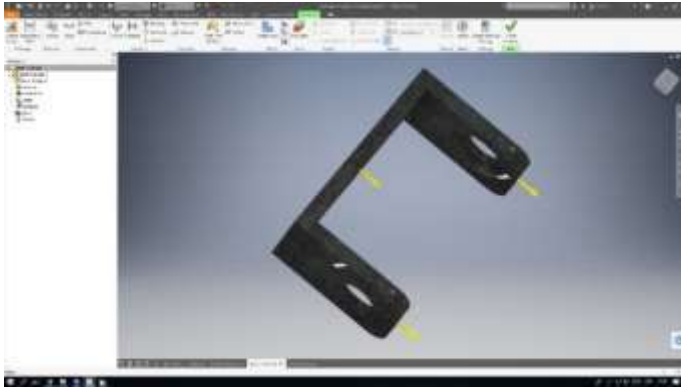
**Gambar 3.16** Penentuan fixed Support pada Base 4 Axis

**e. Menentukan pembebanan yang terjadi pada sumbu x, y, dan z**

Pada tahap ini dilakukan simulasi numerik dengan pembebanan secara statis, yaitu memberikan pembebanan gaya *atau force loading* pada daerah tertentu esua dengan komponen apa yang akan dilakukan simulasi.



**Gambar 3.17** Pemberian beban statis pada Poros



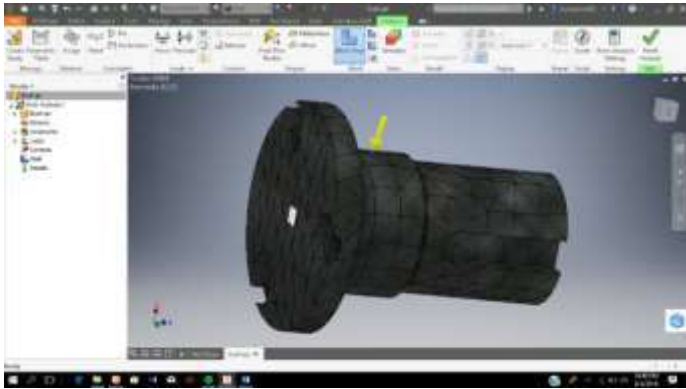
**Gambar 3.18** Pemberian beban statis pada Holder Spindle



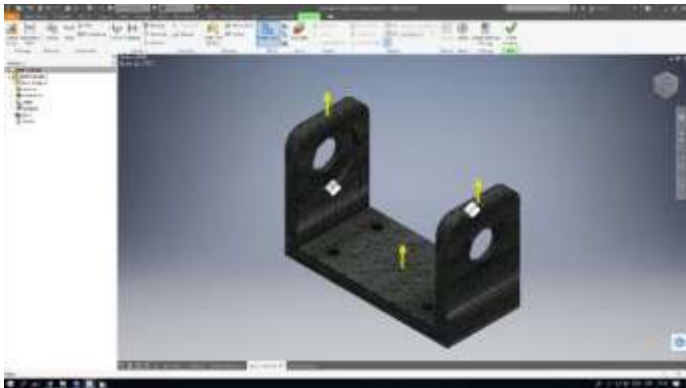
**Gambar 3.19** Pemberian beban statis pada Base 4 Axis

**f. Meshing komponen rotational axis**

Pada tahap ini, *meshing* menentukan pada daerah mana yang ingin di detailkan. Sehingga nantinya pada daerah tersebut diketahui lebih detail pengaruh dari tegangan yang ditimbulkan.



**Gambar 3.20** Meshing pada Poros Holder Spindle



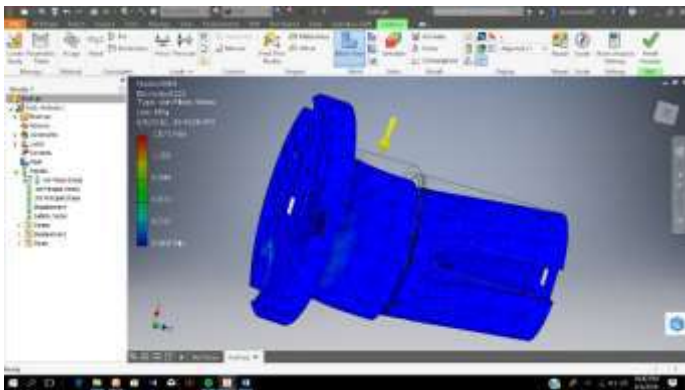
**Gambar 3.21** Meshing pada Holder Spindle



**Gambar 3.22** Meshing pada Base 4 Axis

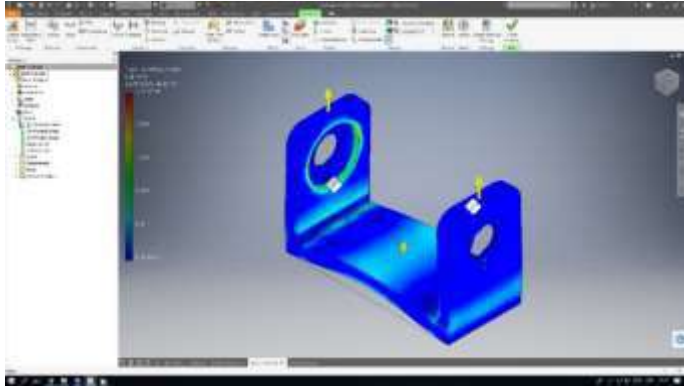
**g. Simulate**

Setelah dilakukan pembebanan kemudian di running sehingga dapat diketahui distribusi tegangan dan tegangan maksimum yang terjadi pada komponen.

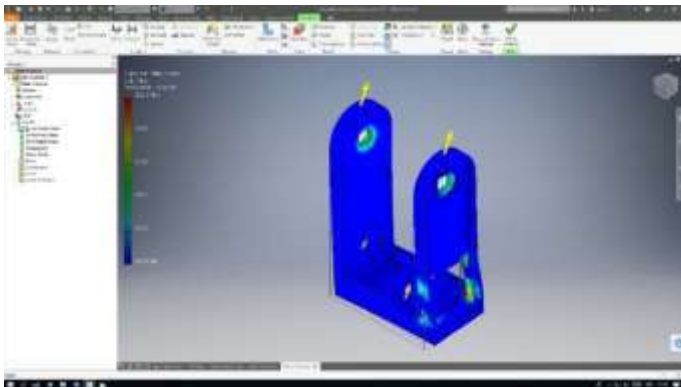


**Gambar 3.23** Simulate Poros Holder Spindle





**Gambar 3.24** Simulate Holder Spindle



**Gambar 3.25** Simulate Base 4 Axis

#### **h. Hasil**

Desain dikatakan aman apabila komponen mampu menahan beban yang ada tanpa mengalami tegangan berlebih. Dapat diartikan dalam simulasi dengan Inventor.

## **BAB IV**

### **PEMBAHASAN DAN PERHITUNGAN**

Pada bab ini akan membahas tentang perhitungan dan analisa poros 1, poros 2, base holder spindle dan base 4 Axis pada Rotational Axis WCM 1000, antara lain menghitung gaya dan tegangan maksimal yang terjadi pada komponen kritis mesin CNC WCM 1000. Berbekal dari perhitungan statika, dan elemen mesin.

#### **4.1 Pemilihan Komponen Kritis**

Perhitungan gaya dilakukan pada komponen yang dianggap memiliki beban kritis. Perhitungan komponen untuk mengetahui kekuatan alat pada saat bekerja dengan memenuhi *safety factor* yang telah ditentukan.

Part-part yang akan dihitung dan dianalisa adalah :

1. Shaft/poros 1
2. Shaft/poros 2
3. Base 4 Axis pada Rotational Axis
4. Base holder spindle

#### **4.2 Material yang Digunakan**

Material yang digunakan pada komponen mesin WCM 1000 5 Axis yakni material ASTM A36 dan Alumunium. Dimana penggunaan ASTM A36 diaplikasikan pada komponen holder base spindle dan base 4 Axis. Sedangkan material alumunium diaplikasikan pada komponen poros 1 dan poros 2. Berikut spesifikasi dari material

**Tabel 4.1** Spesifikasi Material ASTM A36 steel

No	Property	Value
1	<i>Density</i>	7,850 g/cm <sup>3</sup>
2	<i>Ultimate Tensile Strength</i>	400 Mpa
3	<i>Yield Tensile Strength</i>	250 Mpa

4	<i>Modulus of Elasticity</i>	200 Gpa
---	------------------------------	---------

*Sumber : Solidwork material*

**Tabel 4.2** Spesifikasi Material Aluminium

No	Property	Value
1	<i>Density</i>	2.70 g/cm <sup>3</sup>
2	<i>Ultimate Tensile Strength</i>	700 Mpa
3	<i>Yield Tensile Strength</i>	275 Mpa
4	<i>Modulus of Elasticity</i>	68 Gpa

Sumber: <http://www.matweb.com>

### 4.3 Tahap Perhitungan Daya Motor

**Tabel 4.3** Spesifikasi Motor ECMA-C10604RS 220V 400W

Model	ECMA-C10604RS
Product Name	Electronic Commutation Motor
Servo Type	AC Servo
Corresponding Servo Motor	ASD-A2-0421-L ASD-A2-0421-M ASD-A2-0421-U ASD-A2-0421-E
Rated Voltage	220V
Encoder Type	Incremental type, 20-bit
Motor Frame Size	60 mm
Standard Shaft Diameter	S=14mm
Rated Power Output	400W
Rated torque (N-m)	1.27
Max. torque (N-m)	3.82
Rated Speed	3000 rpm
Max. speed	5000 rpm
Rated current (A)	2.6 A

Max. instantaneous current (A)	7.8 A
Power rating (kW/s)	57.6
Torque constant-KT (N-m/A)	0.49
Voltage constant-KE (mV/(r/min))	17.4
Armature resistance (Ohm)	1.55
Electric constant (ms)	4.30
Insulation resistance	> 100 M ohm , DC 500 V
Insulation strength	1.8k Vac, 1 sec
Weight (kg) (without brake)	1.6Kg

Sumber: <https://www.aliexpress.com>

Untuk menghitung daya motor untuk WCM 1000 5 Axis ini menggunakan rumus empiris. Dimana rumus empiris tersebut didapat dengan perhitungan sebagai berikut:

*Daya motor = Kekuatan tarik BK x L.Potong Pahat x CS*

$$Watt = \frac{N}{mm^2} \times mm^2 \times \frac{m}{s}$$

Didapat perhitungan untuk daya motor sebagai berikut :

$$P_{motor} = 40 \text{ Mpa} \times 100 \text{ mm}^2 \times 100 \frac{m}{s}$$

$$P_{motor} = 400 \text{ Watt}$$

#### 4.4 Perhitungan Statika Manual

Dalam proses menganalisa sebuah struktur pada komponen rotational axis dibutuhkan data seperti berat dari komponen, berikut perhitungan yang didapat:

a. Motor Servo

$$\text{massa motor } (m_m) = 1.6 \text{ kg}$$

$$\text{berat motor } (W_m) = m_m \times g$$

$$W_m = 1.6 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$W_m = 15.68 \text{ N}$$

b. Poros pada holder spindle

$$\text{volume} = 15.55 \text{ cm}^3$$

$$\text{massa poros } (m_p) = \rho \cdot v$$

$$= 2.70 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times 15.55 \text{ cm}^3$$

$$= 41.985 \text{ gr } (0.042 \text{ kg})$$

$$\text{berat poros } (W_p) = m_p \times g$$

$$W_p = 0.042 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$W_p = 0.411 \text{ N}$$

c. Holder motor

$$\text{volume} = 157.739 \text{ cm}^3$$

$$\text{massa holder motor } (m_{hm}) = \rho \cdot v$$

$$m_{hm} = 2.70 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times 157.739 \text{ cm}^3$$

$$m_{hm} = 425.895 \text{ gr } (0.426 \text{ kg})$$

$$\text{berat poros } (W_{hm}) = m_{hm} \times g$$

$$W_{hm} = 0.426 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$W_{hm} = 4.174 \text{ N}$$

d. Base holder spindle

$$volume = 83.198 \text{ cm}^3$$

$$massa \text{ holder motor } (m_{hs}) = \rho \cdot v$$

$$m_{hs} = 7.85 \frac{gr}{cm^3} \times 83.198 \text{ cm}^3$$

$$m_{hs} = 653.104 \text{ gr } (0.653 \text{ kg})$$

$$berat \text{ poros } (W_{hs}) = m_{hs} \times g$$

$$W_{hs} = 0.653 \text{ kg} \times 9.8 \frac{N}{kg}$$

$$W_{hs} = 6.399 \text{ N}$$

e. Base 4 Axis pada Rotational Axis

$$volume = 412.978 \text{ cm}^3$$

$$massa \text{ Base 4 Axis } (m_{b4}) = \rho \cdot v$$

$$m_{b4} = 7.85 \frac{gr}{cm^3} \times 412.978 \text{ cm}^3$$

$$m_{b4} = 3241.877 \text{ gr } (3.242 \text{ kg})$$

$$berat \text{ poros } (W_{b4}) = m_{hs} \times g$$

$$W_{b4} = 3.242 \text{ kg} \times 9.8 \frac{N}{kg}$$

$$W_{b4} = 31.771 \text{ N}$$

f. Pulley 1 (25 teeth)

$$massa \text{ pulley } (m_{pul1}) = 0.110 \text{ kg}$$

$$berat \text{ poros } (W_{pul1}) = m_{pul} \times g$$

$$W_{pul1} = 0.110 \text{ kg} \times 9.8 \frac{N}{kg}$$

$$W_{pul1} = 1.078 \text{ N}$$

- g. Pulley 2 (36 teeth)  
*massa pulley* ( $m_{pul2}$ ) = 0.233kg

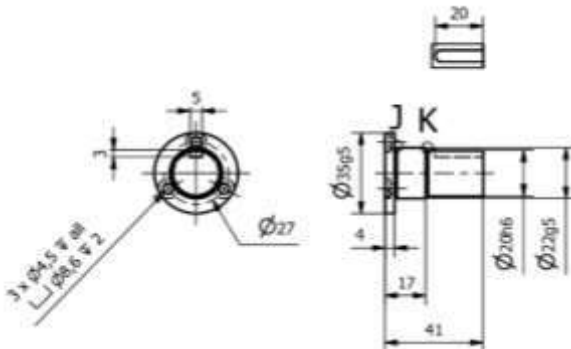
$$\text{berat poros } (W_{pul2}) = m_{pul2} \times g$$

$$W_{pul2} = 0.233 \text{ kg} \times 9.8 \frac{N}{kg}$$

$$W_{pul2} = 2.283 \text{ N}$$

Tahap selanjutnya setelah mencari weight atau berat komponen yakni menghitung perhitungan statis, untuk mendapatkan besar gaya yang terjadi :

#### 4.4.1 Poros 1 (kiri-kanan)



**Gambar 4.1** Poros 1

Data Poros dapat dilihat sebagai berikut :

$$W_m = \text{Berat motor} = 15.68 \text{ N}$$

$$W_h = \text{Berat holder motor} = 4,174 \text{ N}$$

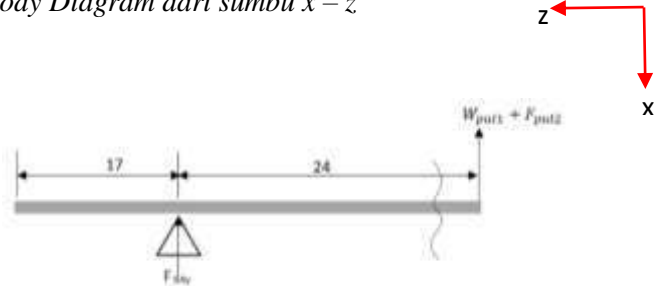
$$W_{hs} = \text{Berat base holder spindle} = 6,99 \text{ N}$$

$$W_p = \text{Berat poros} = 0,411 \text{ N}$$

$$W_{b4} = \text{Berat base 4 axis} = 31,771 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 W_{pul2} &= \text{Berat pulley 2} = 2,283 \text{ N} \\
 T_1 &= \text{Torsi motor} = 3,82 \text{ Nm} \\
 r &= \text{Jari - jari pulley 1} = 0,028 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Free Body Diagram dari sumbu x - z



**Gambar 4.2** Free body diagram poros 1 sumbu x-z

Sebelum menghitung statika pada poros 1 sumbu x-z, maka harus mencari nilai F pada pulley 2



**Gambar 4.3** Skematik Belt and Pulley

Dimana nilai F pada kedua pulley memiliki nilai yang sama, berikut persamaan yang didapat:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= T_2 \\
 F_1 &= F_2
 \end{aligned}$$



$$T_1 = F_{pul2} \times r$$

$$3.82 \text{ Nm} = F_{pul2} \times 0.028 \text{ m}$$

$$F_{pul2} = \mathbf{136.428 \text{ N}}$$

Setelah didapat nilai  $F_{pul2}$  langkah selanjutnya menghitung gaya vertical, dimana gaya vertical dimisalkan dengan sb y.

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

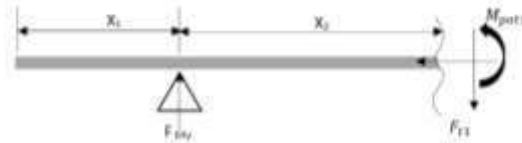
$$F_{b4y} + (W_{pul2} + F_{pul2}) = 0$$

$$F_{b4y} = -(W_{pul2} + F_{pul2})$$

$$F_{b4y} = -(2.283 \text{ N} + 136.428 \text{ N})$$

$$F_{b4y} = \mathbf{-138.711 \text{ N}}$$

*Potongan x-z*



**Gambar 4.4** Potongan poros 1 sumbu x-z

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$F_{b4y} - F_{t1} = 0$$

$$F_{t1} = F_{b4y}$$

$$F_{t1} = \mathbf{-138,711 \text{ N}}$$

$$\begin{aligned}
 +\sum M_{pot_1} &= 0 \\
 -F_{b4y}(x_2) - M_{pot_1} &= 0 \\
 M_{pot_1} &= F_{b4y}(x_2)
 \end{aligned}$$

Misal,  $x_2 = 0,017 \text{ m}$

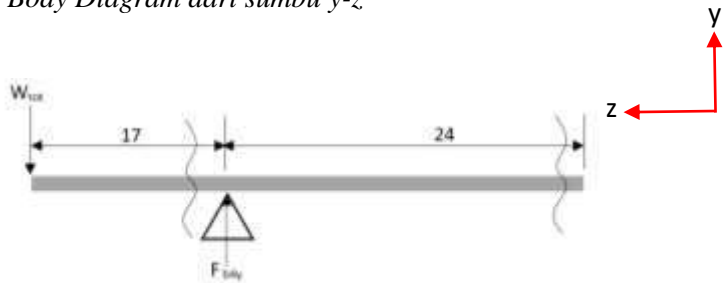
$$M_{pot_1} = F_{b4y}(x_2)$$

$$M_{pot_1} = 138.711 \text{ N (0,017 m)}$$

$$M_{pot_1} = 2,358 \text{ Nm}$$

Selain dilihat dari sumbu x-z poros 1 juga terjdapat gaya, dimana perhitungannya dapat dilihat dari sumbu y-z

*Free Body Diagram dari sumbu y-z*



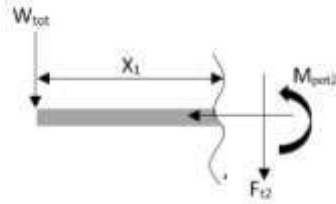
**Gambar 4.5** *Free body diagram poros 1 sumbu y-z*

Pada sumbu y-z terdapat berat yang mengarah vertikal yang tertumpu pada satu titik. Dimana berat total yang dimaksud adalah jumlah dari berat motor, berat holder motor dan berat holder spindle.

$$W_{tot} = W_m + W_{hm} + W_{hs}$$

$$W_{tot} = 26,844 \text{ N}$$

Potongan  $y$ - $z$  (1-1)



**Gambar 4.6** Potongan poros 1 sumbu  $y$ - $z$  (1-1)

$$\begin{aligned} \uparrow + \sum F_y &= 0 \\ -W_{tot} - F_{t2} &= 0 \\ F_{t2} &= -W_{tot} \\ F_{t2} &= -26,844 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \curvearrowright + \sum M_{pot_2} &= 0 \\ -W_{tot}(x_1) - M_{pot_2} &= 0 \\ M_{pot_2} &= -W_{tot}(x_1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Misal, } x_1 &= 0,017 \text{ m} \\ M_{pot_2} &= -W_{tot}(x_1) \\ M_{pot_2} &= -26,844 \text{ N}(0,017\text{m}) \\ M_{pot_2} &= -0,456 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Potongan y-z (2-2)



**Gambar 4.7** Potongan poros 1 sumbu y-z (2-2)

$$\begin{aligned} \uparrow + \sum Fy &= 0 \\ -W_{tot} + F_{b4y} - F_{t2'} &= 0 \\ F_{t2'} &= -W_{tot} + F_{b4y} \\ F_{t2'} &= -26,844 \text{ N} + 138.711 \text{ N} \\ F_{t2'} &= 111,867 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \curvearrowright + \sum M_{pot2'} &= 0 \\ -W_{tot}(x_1 + x_2) + F_{b4y}(x_2) - M_{pot2'} &= 0 \\ M_{pot2'} &= -W_{tot}(x_1 + x_2) + F_{b4y}(x_2) \end{aligned}$$

Misal,  $x_2 = 0,024 \text{ m}$

$$M_{pot2'} = -W_{tot}(x_1 + x_2) + F_{b4y}(x_2)$$

$$M_{pot2'} = -26,844 \text{ N}(0,017\text{m} + 0,024\text{m}) + 138.711 \text{ N}(0,024\text{m})$$

$$M_{pot2'} = -1,1006\text{Nm} + 3,329\text{Nm}$$

$$M_{pot2'} = 2,228\text{Nm}$$

Pada sumbu y-z terdapat 2 potongan sehingga untuk mencari total momen bending dilakukan perhitungan sebagai berikut

*Momen Bending Total Sumbu y-z*

$$M_{b_{toty-z}} = \sqrt{(M_{pot2})^2 + (M_{pot2'})^2}$$

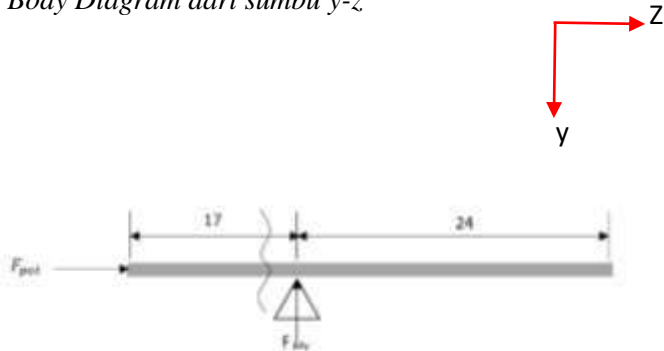
$$M_{b_{toty-z}} = \sqrt{(0,456 \text{ Nm})^2 + (2,228 \text{ Nm})^2}$$

$$M_{b_{toty-z}} = \sqrt{0,207 \text{ Nm}^2 + 4,965 \text{ Nm}^2}$$

$$M_{b_{toty-z}} = \sqrt{5,172 \text{ Nm}^2}$$

$$M_{b_{toty-z}} = 2,274 \text{ Nm}$$

*Free Body Diagram dari sumbu y-z*



**Gambar 4.8** *Free body diagram poros 1 sumbu y-z*

Untuk mendapatkan nilai  $F_{pot}$  digunakan dengan rumus *power* atau daya, dimana:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ Nm/s} = 60 \text{ Nm/min}$$

Didapat daya motor sebesar:

$$P_{motor} = 400 \text{ watt}$$

$$P_{motor} = 400 \text{ watt (60)}$$

$$P_{motor} = 24000 \frac{N \cdot m}{\text{minute}}$$

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = (F_{pot} \cdot D/2)(2\pi N)$$

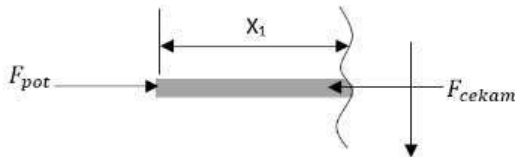
$$\frac{24000 Nm}{\text{min}} = (F_{pot} \cdot \frac{10mm}{2})(2 \cdot \pi \cdot 3000rpm \cdot \frac{1m}{1000mm})$$

$$24000 \frac{Nm}{\text{min}} = (F_{pot}) \cdot 94,2 \frac{m}{\text{min}}$$

$$F_{pot} = \frac{24000 \frac{Nm}{\text{min}}}{94,2 \frac{m}{\text{min}}}$$

$$F_{pot} = 254,77 \text{ N}$$

Potongan y-z



**Gambar 4.9** Potongan poros 1 sumbu y-x

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$F_{pot} - F_{cekam} = 0$$

$$F_{cekam} = F_{pot}$$

$$F_{cekam} = 254,77 \text{ N}$$

Maka momen bending yang terjadi pada poros 1 dapat dicari menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$M_b = \sqrt{(M_{b_{toty-z}})^2 + (M_{pot1})^2}$$

$$M_b = \sqrt{(2,274 \text{ Nm})^2 + (2,385 \text{ Nm})^2}$$

$$M_b = \sqrt{5,171 \text{ Nm}^2 + 5,688 \text{ Nm}^2}$$

$$M_b = \sqrt{10,859 \text{ Nm}^2}$$

$$M_b = 3,230 \text{ Nm}$$

$$M_b = 3,230 \text{ Nm} \cdot 0,224 \frac{\text{lbf}}{\text{N}} \cdot 39,370 \frac{\text{in}}{\text{m}}$$

$$M_b = 28,484 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

Sedangkan untuk mencari momen torsi pada poros 1 sebagai berikut :

$$M_t = F \times r$$

$$M_t = (m \cdot g) \times r$$

$$M_t = \left(0,042 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \times 0,001 \text{ m}$$

$$M_t = 4,116 \cdot 10^{-4} \text{ Nm}$$

$$M_t = 4,116 \cdot 10^{-4} \text{ Nm} \cdot 0,224 \frac{\text{lbf}}{\text{N}} \cdot 39,370 \frac{\text{in}}{\text{m}}$$

$$M_t = 2,747 \cdot 10^{-3} \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

Sehingga didapat tegangan maksimum yang terjadi pada poros 1

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{16M_b}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16M_t}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{16 \cdot 28,484 \text{ lbf} \cdot \text{in}}{3,14 \cdot (0,397 \text{ in})^3}\right)^2 + \left(\frac{16 \cdot 2,747 \cdot 10^{-3} \text{ lbf} \cdot \text{in}}{3,14 \cdot (0,397 \text{ in})^3}\right)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{5375255,764 \frac{\text{lbf}^2 \text{in}^2}{\text{in}^6} + 0,0499 \frac{\text{lbf}^2 \text{in}^2}{\text{in}^6}}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{5375255,814 \frac{\text{lbf}^2 \text{in}^2}{\text{in}^6}}$$

$$\tau_{max} = 2318,459 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

$$\tau_{max} = 2318,459 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot 6,894 \frac{\text{kPa}}{\text{lbf}/\text{in}^2}$$

$$\tau_{max} = 15983,46 \text{ kPa}$$

$$\tau_{max} = 15,983 \text{ Mpa}$$

Maka tegang ijin yang didapat untuk dibandingkan dengan tegangan maksimum yang didapat yakni sebagai berikut :

$$\tau_{max} \leq |\tau_x|$$

$$\tau_{max} \leq \frac{0,58 \times \sigma_{yp}}{1,5}$$

$$15,983 \text{ Mpa} \leq \frac{0,58 \times 275 \text{ Mpa}}{2}$$

$$15,983 \text{ Mpa} \leq 79,75 \text{ Mpa}$$

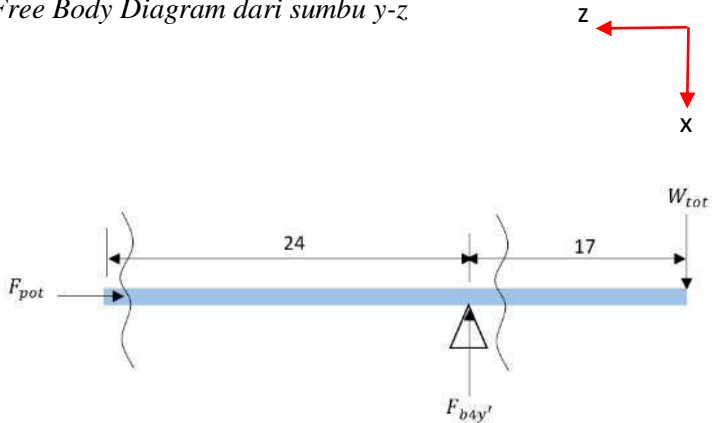
Maka dapat dikatakan bila material yang digunakan sudah dikatakan layak atau aman untuk diaplikasikan ke WCM 1000 5 Axis.



#### 4.4.2 Poros 2 (kanan-kiri)

Dimana untuk menghitung poros kedua dengan bentuk dan dimensi yang sama, akan tetapi pembebanan yang diterima berbeda maka perhitungan yang didapat yakni sebagai berikut:

*Free Body Diagram dari sumbu y-z.*



**Gambar 4.10** *Free body diagram poros 2 sumbu y-z*

Pada sumbu vertical terdapat gaya dan pembebanan yang terjadi sebagai berikut:

$$W_{tot} = W_m + W_{hm} + W_{hs}$$

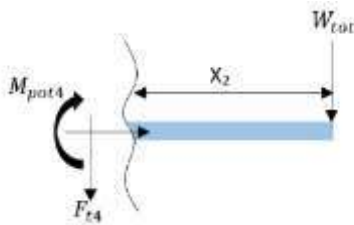
$$W_{tot} = 26,844 \text{ N}$$

$$\frac{1}{2}W_m = 7,84 \text{ N}$$

Selanjutnya menghitung jumlah gaya yang terjadi pada arah vertical:

$$\begin{aligned}
 \uparrow + \sum F_y &= 0 \\
 -W_{tot} - F_{b4y'} &= 0 \\
 F_{b4y'} &= -W_{tot} \\
 F_{b4y'} &= -26,844 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Potongan y-z (1-1)



**Gambar 4.11** Potongan poros 2 sumbu y-z (1-1)

$$\begin{aligned}
 \uparrow + \sum F_y &= 0 \\
 -W_{tot} - F_{t4} &= 0 \\
 F_{t4} &= -W_{tot} \\
 F_{t4} &= -26,844 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \curvearrowright + \sum M_{pot_4} &= 0 \\
 W_{tot}(x_2) + M_{pot_4} &= 0 \\
 M_{pot_4} &= -W_{tot}(x_2)
 \end{aligned}$$

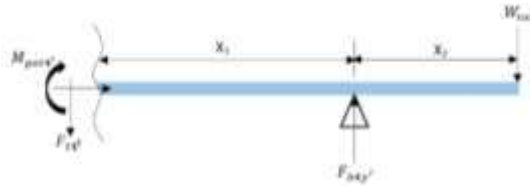
Misal,  $x_2 = 0,017 \text{ m}$

$$M_{pot_4} = -W_{tot}(x_2)$$

$$M_{pot_4} = -26,844 \text{ N}(0,017\text{m})$$

$$M_{pot_4} = -0,456 \text{ Nm}$$

Potongan  $y$ - $z$  (2-2)



**Gambar 4.12** Potongan poros 2 sumbu  $y$ - $z$  (2-2)

$$\begin{aligned} \uparrow + \sum F_y &= 0 \\ -W_{tot} + F_{b4y'} - F_{t4'} &= 0 \\ F_{t4'} &= -W_{tot} + F_{b4y'} \\ F_{t4'} &= -26,844 \text{ N} + 14,288 \text{ N} \\ F_{t4'} &= -12,556 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \curvearrowright + \sum M_{pot4'} &= 0 \\ W_{tot}(x_1 + x_2) + F_{b4y'}(x_1) + M_{pot4'} &= 0 \\ M_{pot4'} &= -W_{tot}(x_1 + x_2) - F_{b4y'}(x_1) \end{aligned}$$

Misal,  $x_2 = 0,017 \text{ m}$

$$M_{pot4'} = -W_{tot}(x_1 + x_2) - F_{b4y'}(x_1)$$

$$M_{pot4'} = -26,844 \text{ N} (0,024 \text{ m} + 0,017 \text{ m}) - 14,288 \text{ N} (0,024 \text{ m})$$

$$M_{pot4'} = -1,1006 \text{ Nm} - 0,342 \text{ Nm}$$

$$M_{pot4'} = -1,443 \text{ Nm}$$

Karena didapat 2 per potongan pada poros 2 sumbu  $y$ - $z$ , maka untuk mencari momen bending dapat dengan cara sebagai berikut:

*Momen Bending Total Sumbu  $y$ - $z$*

$$M_{b_{toty-z}} = \sqrt{(M_{pot4})^2 + (M_{pot4'})^2}$$

$$M_{b_{toty-z'}} = \sqrt{(0,456 \text{ Nm})^2 + (1,443 \text{ Nm})^2}$$

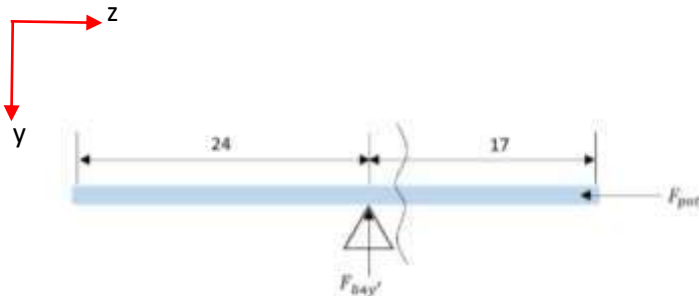
$$M_{b_{toty-z'}} = \sqrt{0,207 \text{ Nm}^2 + 2,0822 \text{ Nm}^2}$$

$$M_{b_{toty-z'}} = \sqrt{2,289 \text{ Nm}^2}$$

$$M_{b_{toty-z'}} = 1,5129 \text{ Nm}$$

Pada sumbu z terdapat gaya ppotongan yang dilakukan pada saat spindle mulai memakan benda kerja. Berikut perhitungannya:

*Free Body Diagram dari sumbu y-z*



**Gambar 4.13** *Free body diagram poros 2 sumbu y-z*

Untuk mendapatkan nilai  $F_{pot}$  digunakan dengan rumus *power* atau daya, dimana:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ Nm/s} = 60 \text{ Nm/min}$$

Didapat daya motor sebesar:

$$P_{motor} = 400 \text{ watt}$$

$$P_{motor} = 400 \text{ watt (60)}$$

$$P_{motor} = 24000 \frac{N \cdot m}{minute}$$

$$P = T \cdot \omega$$

$$P = (F_{pot} \cdot D/2)(2\pi N)$$

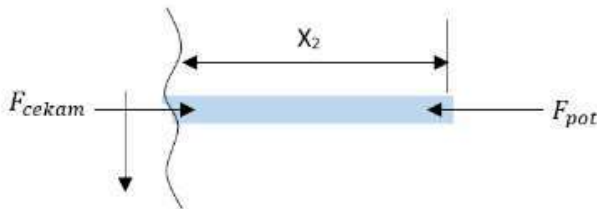
$$\frac{24000 Nm}{min} = F_{pot} \cdot \frac{10mm}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 3000rpm \cdot \frac{1m}{1000mm}$$

$$24000 \frac{Nm}{min} = (F_{pot}) \cdot 94,2 \frac{m}{min}$$

$$F_{pot} = \frac{24000 \frac{Nm}{min}}{94,2 \frac{m}{min}}$$

$$F_{pot} = 254,77 N$$

Potongan y-z



Gambar 4.14 Potongan poros 1 sumbu y-x

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$F_{pot} - F_{cekam} = 0$$

$$F_{cekam} = F_{pot}$$

$$F_{cekam} = 254,77 N$$

Maka momen bending yang terjadi pada poros 2 dapat dicari menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$M_b = \sqrt{(M_{b_{toty-z}})^2 + (M_{pot3})^2}$$

$$M_b = \sqrt{(1,5129 Nm)^2 + (0,242 Nm)^2}$$

$$M_b = \sqrt{2,288 Nm^2 + 0,058 Nm^2}$$

$$M_b = \sqrt{2,346 Nm^2}$$

$$M_b = 1,531 Nm$$

$$M_b = 1,531 Nm \cdot 0,224 \frac{lbf}{N} \cdot 39,370 \frac{in}{m}$$

$$M_b = 13,507 lbf \cdot in$$

Sedangkan untuk mencari momen torsi pada poros spindle 1 sebagai berikut :

$$M_t = F \times r$$

$$M_t = (m \cdot g) \times r$$

$$M_t = \left(0,042 kg \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}\right) \times 0,001 m$$

$$M_t = 4,116 \cdot 10^{-4} Nm$$

$$M_t = 4,116 \cdot 10^{-4} Nm \cdot 0,224 \frac{lbf}{N} \cdot 39,370 \frac{in}{m}$$

$$M_t = 2,747 \cdot 10^{-3} lbf \cdot in$$

Sehingga didapat tegangan maksimum yang terjadi pada poros 2 sebagai berikut:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{16M_b}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16M_t}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{16 \cdot 13,507 \text{ lbf} \cdot \text{in}}{3,14 \cdot (0,397 \text{ in})^3}\right)^2 + \left(\frac{16 \cdot 2,747 \cdot 10^{-3} \text{ lbf} \cdot \text{in}}{3,14 \cdot (0,397 \text{ in})^3}\right)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{1208690,139 \frac{\text{lbf}^2 \text{in}^2}{\text{in}^6} + 0,0499 \frac{\text{lbf}^2 \text{in}^2}{\text{in}^6}}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{1208690,189 \frac{\text{lbf}^2 \text{in}^2}{\text{in}^6}}$$

$$\tau_{max} = 1099,4044 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

$$\tau_{max} = 1099,4044 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot 6,894 \frac{\text{kPa}}{\text{lbf}/\text{in}^2}$$

$$\tau_{max} = 7579,294 \text{ kPa}$$

$$\tau_{max} = 7,579 \text{ Mpa}$$

Dan tegang ijin yang didapat untuk dibandingkan dengan tegangan maksimum yang didapat yakni sebagai berikut :

$$\tau_{max} \leq |\tau_x|$$

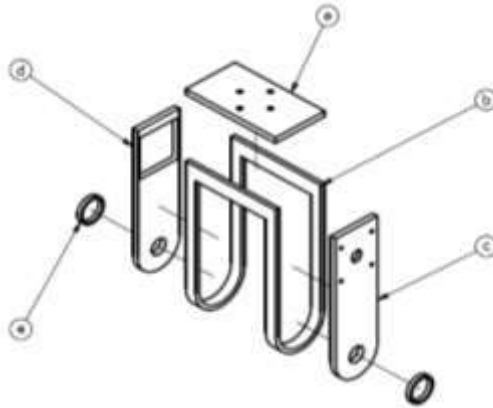
$$\tau_{max} \leq \frac{0,58 \times \sigma_{yp}}{1,5}$$

$$7,579 \text{ Mpa} \leq \frac{0,58 \times 275 \text{ Mpa}}{1,5}$$

$$7,579 \text{ Mpa} \leq 79,75 \text{ Mpa}$$

Maka dapat dikatakan bila material yang digunakan sudah dikatakan “aman” untuk diaplikasikan ke WCM 1000 5 Axis.

#### 4.4.3 Base 4 Axis



**Gambar 4.15** *Exploded Base 4 Axis*

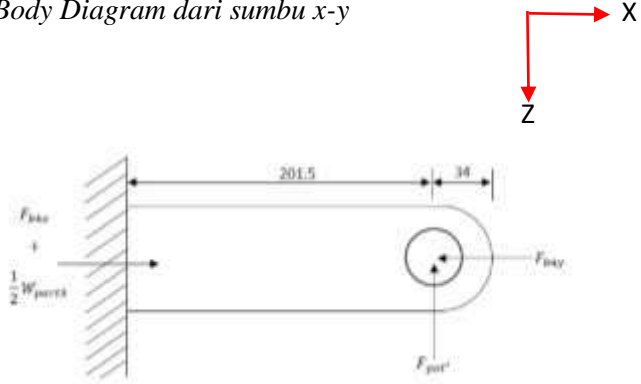
Pada part b dan part e diabaikan sehingga perhitungan untuk mencari tegangan maksimum yang akan dibandingkan dengan tegangan ijin adalah sebagai berikut

- 1) Part 1 [part c] (kiri-kanan)  
Sebelum membahas lebih dalam perhitungan pada base 4 axis,  $F_{pot}' = F_{pot}$ . Dimana :

$$F_{pot} = 245,77 \text{ N}$$



Free Body Diagram dari sumbu x-y



**Gambar 4.16** Base 4 axis part 1 pandangan x-y

Didapat data sebagai berikut:

$$\frac{1}{2}W_{part3} = 3,555 \text{ N}$$

$$F_{pot'} = 113,465 \text{ N}$$

Perhitungan pada sumbu horizontal

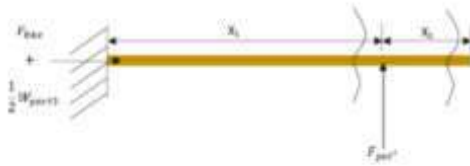
$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$\left( F_{b4x} + \frac{1}{2}W_{part3} \right) - F_{b4y} = 0$$

$$F_{b4x} = -\frac{1}{2}W_{part3} + F_{b4y}$$

$$F_{b4x} = -3,555 \text{ N} + 138.711 \text{ N}$$

$$F_{b4x} = 135,156 \text{ N}$$



**Gambar 4.17** Sisi perpotongan base 4 axis part 1 pandangan x-z

Potongan x-z (I-I)



**Gambar 4.18** Potongan Base 4 Axis Part 1 pandangan x-z (I-I)

$$\begin{aligned} \rightarrow \sum F_x &= 0 \\ \left( F_{b4x} + \frac{1}{2} W_{part3} \right) - F_n &= 0 \\ F_n &= F_{b4x} + \frac{1}{2} W_{part3} \\ F_n &= 135,156 \text{ N} + 3,555 \text{ N} \\ F_n &= 138,711 \text{ N} \end{aligned}$$

Potongan  $x$ - $z$  (2-2)



**Gambar 4.19** Potongan base 4 axis Part 1 pandangan  $x$ - $z$  (2-2)

$$\begin{aligned} \uparrow + \sum F_y &= 0 \\ F_{pot'} - F_{t5} &= 0 \\ F_{t5} &= F_{pot'} \\ F_{t5} &= 113,465 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \curvearrowright + \sum M_{pot5} &= 0 \\ -F_{pot'}(x_2) + M_{pot5} &= 0 \\ M_{pot5} &= F_{pot'}(x_2) \end{aligned}$$

Misal,  $x_2 = 0,034 \text{ m}$

$$M_{pot5} = F_{pot'}(x_2)$$

$$M_{pot5} = 113,465 \text{ N}(0,034\text{m})$$

$$M_{pot5} = 3,857 \text{ Nm}$$

Maka momen bending yang terjadi pada part 1 base 4 axis yakni 3,857 Nm

Momen torsi:

$$M_t = F \times l$$

$$M_t = m \cdot g \times l$$

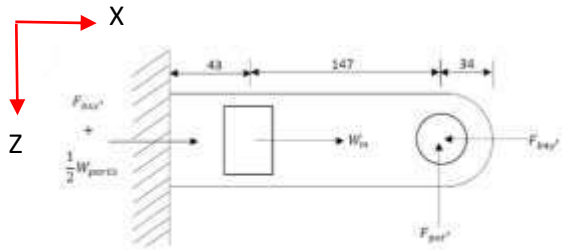
$$M_t = 0,842 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,201 \text{ m}$$

$$M_t = 1,662 \text{ Nm}$$

$$M_t = 14,656 \text{ lbf. in}$$

2) Part 2

*Free Body Diagram dari sumbu x-z*



**Gambar 4.20** Base 4 axis part 2 pandangan x-z

Didapat data sebagai berikut:

$$\frac{1}{2} W_{part3} = 3,555 \text{ N}$$

$$W_m = 11,76 \text{ N}$$

$$F_{b4y'} = 14,288 \text{ N}$$

$$\overset{+}{\rightarrow} \sum F_x = 0$$

$$\left( F_{b4x'} + \frac{1}{2} W_{part3} \right) + W_m + F_{b4y'} = 0$$

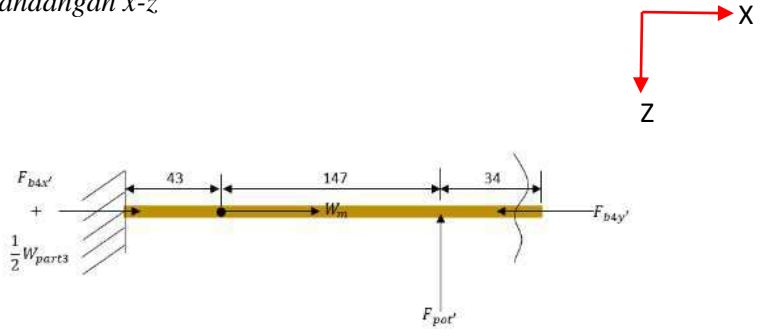
$$F_{b4x'} + \frac{1}{2}W_{part3} = -W_m - F_{b4y'}$$

$$F_{b4x'} + 3,555N = -11,76N - 14,288N$$

$$F_{b4x'} = -26,048N - 3,555N$$

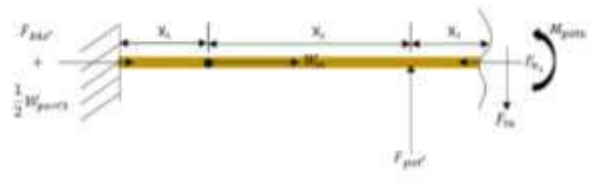
$$F_{b4x'} = -29,603N$$

Pandangan x-z



**Gambar 4.21** Diagram Bean base 4 axis part 2 pandangan x-z

Potongan x-z



**Gambar 4.22** Potongan Part 2 pandangan x-z

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$\left( F_{b4x'} + \frac{1}{2} W_{part3} \right) + W_m - F_{n_1} = 0$$

$$F_{n_1} = \left( F_{b4x'} + \frac{1}{2} W_{part3} \right) + W_m$$

$$F_{n_1} = (29,603 \text{ N} + 3,555 \text{ N}) + 15,68 \text{ N}$$

$$F_{n_1} = 48,838 \text{ N}$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$F_{pot'} - F_{t6} = 0$$

$$F_{t6} = F_{pot'}$$

$$F_{t6} = 113,465 \text{ N}$$

$$\left( +\sum M_{pot_6} = 0 \right.$$

$$-F_{pot'}(x_2) + M_{pot_6} = 0$$

$$M_{pot_6} = F_{pot'}(x_2)$$

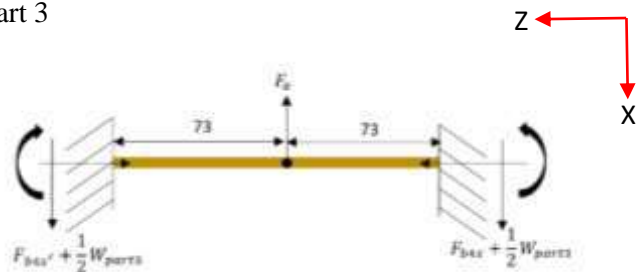
Misal,  $x_2 = 0,034 \text{ m}$

$$M_{pot_6} = F_{pot'}(x_2)$$

$$M_{pot_6} = 113,465 \text{ N}(0,034\text{m})$$

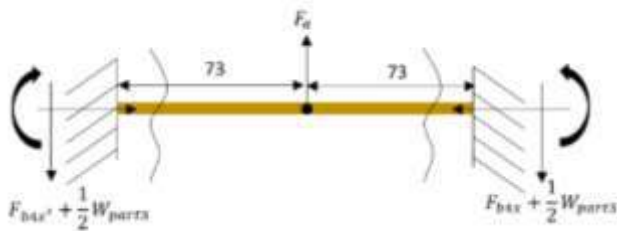
$$M_{pot_6} = 3,857 \text{ Nm}$$

3) Part 3



**Gambar 4.23** Diagram Bean Part 3 pandangan x-z

Pada part 3 base 4 axis memiliki gaya yang terletak pada titik tengah dan memiliki panjang sama. Namun pada ujung-ujungnya terdapat gaya yang berbeda, sehingga dilakukan perpotongan pada 2 sisi.



**Gambar 4.24** Sisi perpotongan part 3 base 4 axis sumbu x-z

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

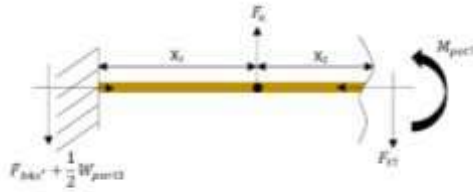
$$-\left(F_{b4x'} + \frac{1}{2}W_{part3}\right) + F_a - \left(F_{b4x} + \frac{1}{2}W_{part3}\right) = 0$$

$$F_a = \left(F_{b4x'} + \frac{1}{2}W_{part3}\right) + \left(F_{b4x} + \frac{1}{2}W_{part3}\right)$$

$$F_a = (29,603 \text{ N} + 3,555 \text{ N}) + (135,156 \text{ N} + 3,555 \text{ N})$$

$$F_a = 171,869 \text{ N}$$

Kemudian dilakukan perhitungan pada sisi pertama, sehingga didapat:



**Gambar 4.25** Potongan Part 3 pandangan x-z (1-1)

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-\left(F_{b4x'} + \frac{1}{2} W_{part3}\right) + F_a - F_{t7} = 0$$

$$F_{t7} = -\left(F_{b4x'} + \frac{1}{2} W_{part3}\right) + F_a$$

$$F_{t7} = -(29,603 \text{ N} + 3,555 \text{ N}) + 171,869 \text{ N}$$

$$F_{t7} = -33,158 \text{ N} + 171,869 \text{ N}$$

$$F_{t7} = 138,711 \text{ N}$$

$$\curvearrowright + \sum M_{pot7} = 0$$

$$-\left(F_{b4x'} + \frac{1}{2} W_{part3}\right)(x_1 + x_2) + F_a(x_2) - M_{pot7} = 0$$

$$M_{pot7}$$

$$= -\left(F_{b4x'} + \frac{1}{2} W_{pot3}\right)(x_1 + x_2) + F_a(x_2)$$

Misal,  $x_1 = x_2 = 0,073 \text{ m}$

$$M_{pot7} = -\left(F_{b4x'} + \frac{1}{2} W_{pot3}\right)(x_1 + x_2) + F_a(x_2)$$

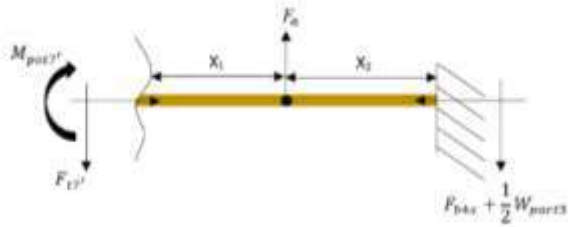
$$M_{pot7} = -(33,158 \text{ N})(0,073 \text{ m} + 0,073 \text{ m}) + (171,869 \text{ N})(0,073 \text{ m})$$

$$M_{pot7} = -4,841 \text{ Nm} + 12,546 \text{ Nm}$$



$$M_{pot_7} = 7,705 Nm$$

Lalu untuk menghitung sisi kedua :



**Gambar 4.26** Potongan Part 3 pandangan x-z (1-1)

$$\begin{aligned} \uparrow + \sum F_y &= 0 \\ -F_{t7'} + F_a - \left( F_{b4x} + \frac{1}{2}W_{part3} \right) &= 0 \\ F_{t7'} &= - \left( F_{b4x} + \frac{1}{2}W_{part3} \right) + F_a \\ F_{t7'} &= -(135,156 N + 3,555 N) + 171,869 N \\ F_{t7'} &= -138,711 N + 171,869 N \\ F_{t7'} &= 33,158 N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \curvearrowright + \sum M_{pot7'} &= 0 \\ - \left( F_{b4x} + \frac{1}{2}W_{part3} \right) (x_1 + x_2) + F_a(x_1) - M_{pot7'} &= 0 \\ M_{pot7'} &= - \left( F_{b4x} + \frac{1}{2}W_{part3} \right) (x_1 + x_2) + F_a(x_1) \end{aligned}$$

Misal,  $x_1 = x_2 = 0,073 m$

$$M_{pot7'} = -\left(F_{b4x} + \frac{1}{2}W_{pot3}\right)(x_1 + x_2) + F_a(x_1)$$

$$M_{pot7'} = -(138,711 N)(0,073 m + 0,073 m) + (171,869 N)(0,073m)$$

$$M_{pot7'} = -20,251 Nm + 12,546 Nm$$

$$M_{pot7'} = -7,704 Nm$$

$$M_{pot7'} = 7,704 Nm \cdot 0,224 \frac{lbf}{N} \cdot 39,370 \frac{in}{m}$$

$$M_{pot7'} = 67,945 lbf \cdot in$$

$$M_t = F \times l$$

$$M_t = m \cdot g \times l$$

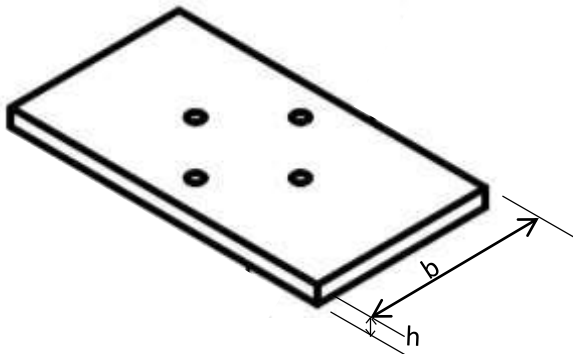
$$M_t = 0,726 kg \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,073 m$$

$$M_t = 0,519 Nm$$

$$M_t = 0,519 Nm \cdot 0,224 \frac{lbf}{N} \cdot 39,370 \frac{in}{m}$$

$$M_t = 4,580 lbf \cdot in$$

**Dari perhitungan yang didapat, nilai momen bending terbesar terjadi pada part 3. Maka untuk mencari nilai tegangan maksimum yang terjadi sebagai berikut:**



**Gambar 4.27** Dimensi b-h

$$b=80\text{mm}=0,08\text{m}=3,149 \text{ in}$$

$$h=8\text{mm}=0,008\text{m}=0,314 \text{ in}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{6M_{pot7'}}{bh^2}\right)^2 + \left(\frac{6M_t}{bh^2}\right)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{6.67,945 \text{ lbf.in}}{3,149 \text{ in} \cdot (0,314 \text{ in})^3}\right)^2 + \left(\frac{6.4,580 \text{ lbf.in}}{3,149 \cdot (0,314 \text{ in})^3}\right)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{17486153,92 \frac{\text{lbf}^2\text{in}^2}{\text{in}^6} + 79452,990 \frac{\text{lbf}^2\text{in}^2}{\text{in}^6}}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{17565606,91 \frac{\text{lbf}^2\text{in}^2}{\text{in}^6}}$$

$$\tau_{max} = 4191,134 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

$$\tau_{max} = 4191,134 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \cdot 0,6894 \frac{\text{kPa}}{\text{lbf}/\text{in}^2}$$

$$\tau_{max} = 28893,680 \text{ kPa}$$

$$\tau_{max} = \mathbf{28,893 \text{ Mpa}}$$

Maka tegang ijin yang didapat untuk dibandingkan dengan tegangan maksimum yang didapat yakni sebagai berikut :

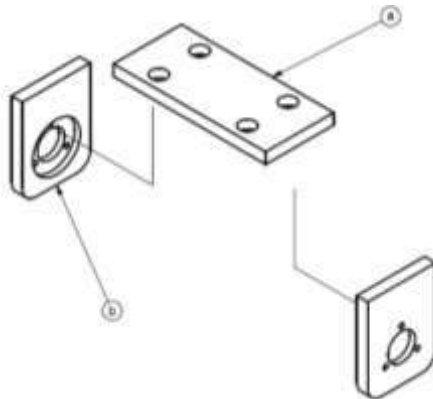
$$\tau_{max} \leq |\tau_x|$$

$$\tau_{max} \leq \frac{0,58 \times \sigma_{yp}}{1,5}$$

$$28,893 \text{ Mpa} \leq \frac{0.58 \times 250 \text{ Mpa}}{1,5}$$
$$28,893 \text{ Mpa} \leq 72,5 \text{ Mpa}$$

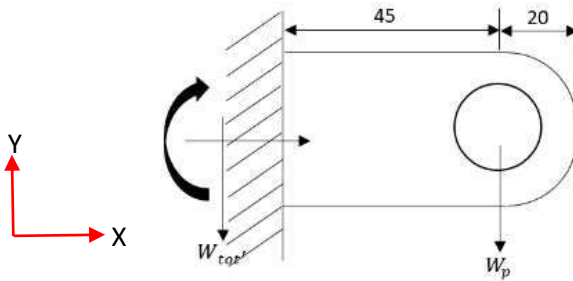
#### 4.4.4 Base Holder Spindle

Sama seperti pada perhitungan base 4 axis, perhitungan pada base holder spindle, dilakukan perhitungan tiap part untuk mencari momen bending terbesar.



**Gambar 4.28** *Assembly* base holder spindle

1) Part 1 = part 3



**Gambar 4.29** *Free Body Diagram base holder spindle part 1 pandangan x-y*

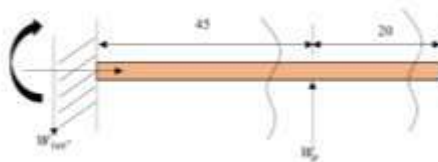
Didapat data sebagai berikut:

$$W_{tot'} = W_m + W_{hm} + \frac{1}{2}W_{part3'}$$

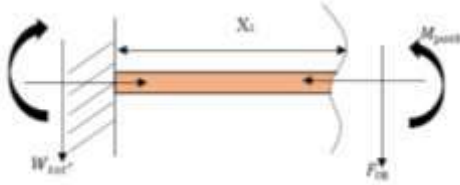
$$W_{tot'} = 15,68 N + 4,174 N + \frac{1}{2}3,253 N$$

$$W_{tot'} = 21,480 N$$

$$W_p = 0,411 N$$



**Gambar 4.30** *Sisi perpotongan base holder spindle part 1*



**Gambar 4.31** Potongan base holder spindle part 1 pandangan x-y (1-1)

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-W_{tot'} - F_{t8} = 0$$

$$F_{t8} = -W_{tot'}$$

$$F_{t8} = -21,480 \text{ N}$$

$$\curvearrowright + \sum M_{pot8} = 0$$

$$-(W_{tot'})(x_1) - M_{pot8} = 0$$

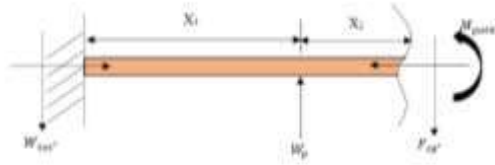
$$M_{pot8} = -(W_{tot'})(x_1)$$

Misal,  $x_1 = 0,045 \text{ m}$

$$M_{pot8} = -(W_{tot'})(x_1)$$

$$M_{pot8} = -21,480 \text{ N}(0,045 \text{ m})$$

$$M_{pot8} = 0,966 \text{ Nm}$$



**Gambar 4.32** Potongan base holder spindle part 1 pandangan x-y (2-2)

$$\downarrow + \sum F_y = 0$$

$$-W_{tot'} + W_p - F_{t8'} = 0$$

$$F_{t8'} = -W_{tot'} + W_p$$

$$F_{t8'} = -21,480 \text{ N} + 0,411 \text{ N}$$

$$F_{t8'} = -21,069 \text{ N}$$

$$\curvearrowright + \sum M_{pot8'} = 0$$

$$-W_{tot'}(x_1 + x_2) + W_p(x_2) - M_{pot8'} = 0$$

$$M_{pot8'}$$

$$= -W_{tot'}(x_1 + x_2) + W_p(x_2)$$

Misal,  $x_2 = 0,020 \text{ m}$

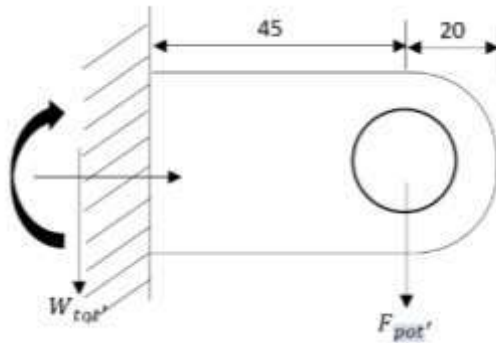
$$M_{pot8'} = -W_{tot'}(x_1 + x_2) + W_p(x_2)$$

$$M_{pot8'} = -21,480 \text{ N}(0,065 \text{ m}) + 0,411 \text{ N}(0,020 \text{ m})$$

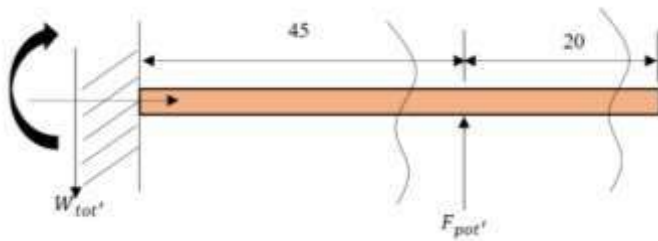
$$M_{pot8'} = 1,396 \text{ Nm} + 0,00822 \text{ Nm}$$

$$M_{pot8'} = 1,404 \text{ Nm}$$

*Free Body Diagram dari sumbu y-z*

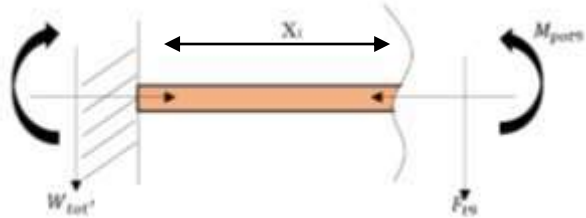


**Gambar 4.33** *Free Body Diagram base holder spindle part 1 pandangan y-z*



**Gambar 4.34** *Sisi perpotongan base holder spindle part 1*





**Gambar 4.35** potongan base holder spindle part 1 pandangan y-z (I-I)

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-W_{tot'} - F_{t9} = 0$$

$$F_{t9} = -W_{tot'}$$

$$F_{t9} = -21,480 \text{ N}$$

$$\curvearrowright + \sum M_{pot9} = 0$$

$$-W_{tot'}(x_1) - M_{pot9} = 0$$

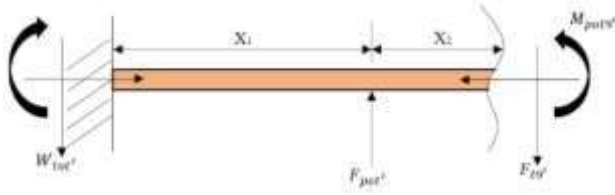
$$M_{pot9} = -W_{tot'}(x_1)$$

Misal,  $x_1 = 0,045 \text{ m}$

$$M_{pot9} = -W_{tot'}(x_1)$$

$$M_{pot9} = -21,480 \text{ N}(0,045 \text{ m})$$

$$M_{pot9} = -0,966 \text{ Nm}$$



**Gambar 4.36** potongan base holder spindle part 1 pandangan y-z  
(2-2)

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-W_{tot}' - F_{pot}' - F_{t9}' = 0$$

$$F_{t9}' = -W_{tot}' - F_{pot}'$$

$$F_{t9}' = -21,480 \text{ N} - 113,465 \text{ N}$$

$$F_{t9}' = -134,945 \text{ N}$$

$$\curvearrowright + \sum M_{pot9} = 0$$

$$-W_{tot}'(x_1 + x_2) + F_{pot}'(x_2) - M_{pot9} = 0$$

$$M_{pot9} = -W_{tot}'(x_1 + x_2) + F_{pot}'(x_2)$$

Misal,  $x_2 = 0,020 \text{ m}$

$$M_{pot9}' = -W_{tot}'(x_1 + x_2) + F_{pot}'(x_2)$$

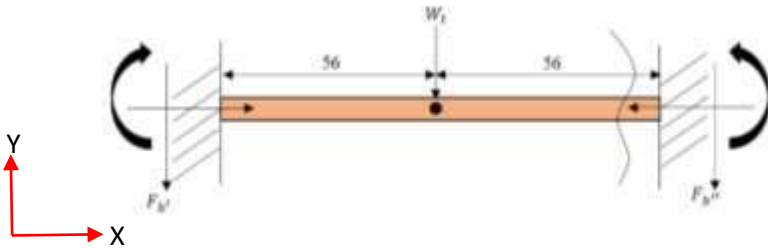
$$M_{pot9}' = -21,480 \text{ N}(0,065 \text{ m}) + 113,465 \text{ N}(0,020 \text{ m})$$

$$M_{pot9}' = -1,396 \text{ Nm} + 2,269 \text{ Nm}$$

$$M_{pot9}' = 0,8733 \text{ Nm}$$

2) Part 2

Pada part 3 base 4 axis memiliki gaya yang terletak pada titik tengah dan memiliki panjang sama. Sehingga perhitungan dilakukan dengan potongan pada satu sisi saja.



**Gambar 4.37** Sisi perpotongan base holder spindle part 2

Didapat data:

$$W_t = W_{hm} + W_m$$

$$W_t = 4,174 \text{ N} + 15,68 \text{ N}$$

$$W_t = 19,854 \text{ N}$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-F_{b'} - W_m - F_{b''} = 0$$

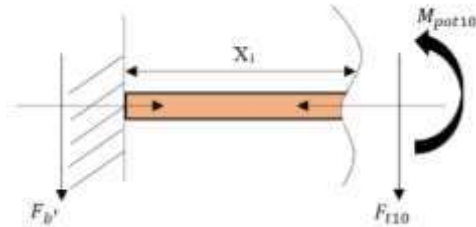
$$F_{b'} + F_{b''} = -W_t$$

Telah diketahui bahwa gaya yang bekerja pada  $F_{b'}$  sama nilainya dengan  $F_{b''}$ , karena pembebanan dan gaya yang terjadi sama sehingga:

$$F_{b'} = F_{b''}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 F_{b'} + F_{b''} &= -W_t \\
 F_{b'} &= \frac{1}{2}(-W_t) \\
 F_{b'} &= \frac{1}{2}(-19,854 \text{ N}) \\
 F_{b'} &= -9,927 \text{ N} \\
 F_{b''} &= -9,927
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.38** potongan base holder spindle part 2 pandangn x-y (1-1)

$$\begin{aligned}
 \uparrow + \sum F_y &= 0 \\
 -F_{b'} - F_{t10} &= 0 \\
 F_{t10} &= -F_{b'} \\
 F_{t10} &= -9,927 \text{ N}
 \end{aligned}$$

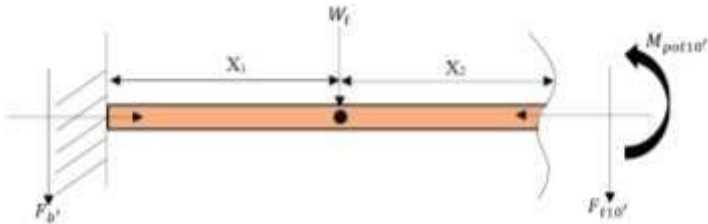
$$\begin{aligned}
 \curvearrowright + \sum M_{pot10} &= 0 \\
 -F_{b'}(x_1) - M_{pot10} &= 0 \\
 M_{pot10} &= -F_{b'}(x_1)
 \end{aligned}$$

Misal,  $x_1 = x_2 = 0,056 \text{ m}$

$$M_{pot10} = -F_{b'}(x_1)$$

$$M_{pot10} = -9,927 \text{ N}(0,056 \text{ m})$$

$$M_{pot10} = -0,555 \text{ Nm}$$



**Gambar 4.39** potongan base holder spindle part 2 pandangan x-y  
(2-2)

$$\begin{aligned} \uparrow + \sum F_y &= 0 \\ -F_{b'} - W_m - F_{t10'} &= 0 \\ F_{t10'} &= -F_{b'} - W_m \\ F_{t10'} &= -9,927 \text{ N} - 15,68 \text{ N} \\ F_{t10'} &= -25,607 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \curvearrowright + \sum M_{pot10'} &= 0 \\ -F_{b'}(x_1 + x_2) + W_m(x_2) - M_{pot10'} &= 0 \\ M_{pot10'} &= -F_{b'}(x_1 + x_2) + W_m(x_2) \\ M_{pot10'} &= -9,927 \text{ N}(0,112 \text{ m}) + 15,68 \text{ N} \\ &\quad (0,056 \text{ m}) \\ M_{pot10'} &= -1,112 \text{ Nm} + 8,780 \text{ Nm} \\ M_{pot10'} &= 7,668 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Didapat momen bending terbesar terletak pada  $M_{pot10}$  dimana nilainya yakni 7,668 Nm. Sebelum dimasukkan kedalam perhitungan tegangan maksimum, maka perlu diubah satuannya menjadi satuan british.

$$M_b = 7,668 \text{ Nm} \cdot 0,224 \frac{\text{lbf}}{\text{N}} \cdot 39,370 \frac{\text{in}}{\text{m}}$$

$$M_b = 67,623 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

Setelah itu perhitungan momen torsi:

$$M_t = F \times l$$

$$M_t = m \cdot g \times l$$

$$M_t = 0,332 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,056 \text{ m}$$

$$M_t = 0,182 \text{ Nm}$$

$$M_t = 0,182 \text{ Nm} \cdot 0,224 \frac{\text{lbf}}{\text{N}} \cdot 39,370 \frac{\text{in}}{\text{m}}$$

$$M_t = 1,606 \text{ lbf} \cdot \text{in}$$

Selanjutnya perhitungan tegangan maksimum yang akan dibandingkan dengan tegangan ijin.

$$b = 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m} = 1,968 \text{ in}$$

$$h = 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m} = 0,314 \text{ in}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{6M_{pot10'}}{bh^2}\right)^2 + \left(\frac{6M_t}{bh^2}\right)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{6 \cdot 67,623 \text{ lbf} \cdot \text{in}}{1,968 \text{ in} \cdot (0,314 \text{ in})^3}\right)^2 + \left(\frac{1,606 \text{ lbf} \cdot \text{in}}{1,968 \cdot (0,314 \text{ in})^3}\right)^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{44346902,56 \frac{lbf^2 in^2}{in^6} + 25012,984 \frac{lbf^2 in^2}{in^6}}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{44371915,54 \frac{lbf^2 in^2}{in^6}}$$

$$\tau_{max} = 3661,224 \frac{lbf}{in^2}$$

$$\tau_{max} = 3661.224 \frac{lbf}{in^2} \cdot 6,894 \frac{kPa}{lbf/in^2}$$

$$\tau_{max} = 25240.4782 kPa$$

$$\tau_{max} = \mathbf{25.240 Mpa}$$

Maka tegang ijin yang didapat untuk dibandingkan dengan tegangan maksimum yang didapat yakni sebagai berikut :

$$\tau_{max} \leq |\tau_x|$$

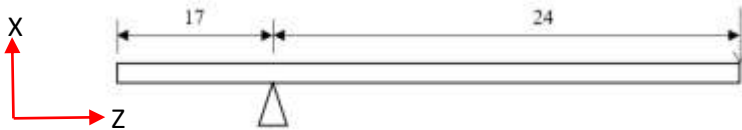
$$\tau_{max} \leq \frac{0,58 x \sigma_{yp}}{1,5}$$

$$25.240 Mpa \leq \frac{0.58 x 250 Mpa}{1,5}$$

$$25.240 Mpa \leq 72,5 Mpa$$

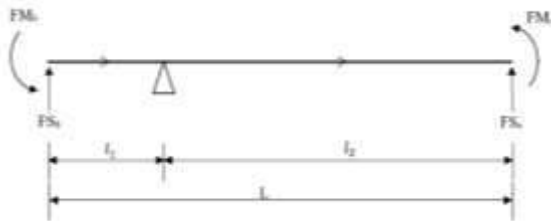
#### 4.5 Perhitungan Menggunakan FEM

Dilakukan perhitungan menggunakan Finite Element Method, perhitungan dilakukan pada poros 1. Perhitungan dilakukan pada porora 1 dikarenakan poros 1 merupakan salah satu komponen kritis pada WCM 1000 5 Axis.



**Gambar 4.40** Diagram Beam Sumbu X-Z Poros 1

setelah diagram beam dibuat, maka model analisa dibuat.



**Gambar 4.41** Model Analisa

Langkah selanjutnya yakni mencari nilai  $FS_b, FM_b, FS_e, FM_e$

$$Q_f = \begin{bmatrix} Q_{f1} \\ Q_{f2} \\ Q_{f3} \\ Q_{f4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} FS_b \\ FM_b \\ FS_e \\ FM_e \end{bmatrix}$$



$$Q_f = \begin{bmatrix} \frac{Wl_2^2}{L^3} (3l_1 + l_2) \\ \frac{Wl_1l_2^2}{L^2} \\ \frac{Wl_2^2}{L^3} (l_1 + 3l_2) \\ -\frac{Wl_1^2l_2}{L^2} \end{bmatrix}$$

$$Q_f = \begin{bmatrix} \frac{0,411 \cdot 0,024^2}{0,041^3} (3 \cdot 0,017 + 0,024) \\ \frac{0,0411 \cdot 0,017 \cdot 0,024^2}{0,041^2} \\ \frac{0,411 \cdot 0,024^2}{0,041^3} (0,017 + 3 \cdot 0,024) \\ \frac{0,0411 \cdot 0,017^2 \cdot 0,024}{0,041^2} \end{bmatrix}$$

$$Q_f = \begin{bmatrix} 45,798 \text{ N} \\ 2,394 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} \\ 38,594 \text{ N} \\ 1,695 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} \end{bmatrix}$$

Didapat gaya yang bekerja pada poros 1 yakni 38,594 N. dimana inisiasi awal menggunakan *Finite Elemen Method* (FEM) yang akan diselesaikan menggunakan simulasi software Inventor, untuk menentukan *boundary condition*, dimana terdapat penentuan *von mises*, *force load*, dan *fixed support*

## BAB V SIMULASI

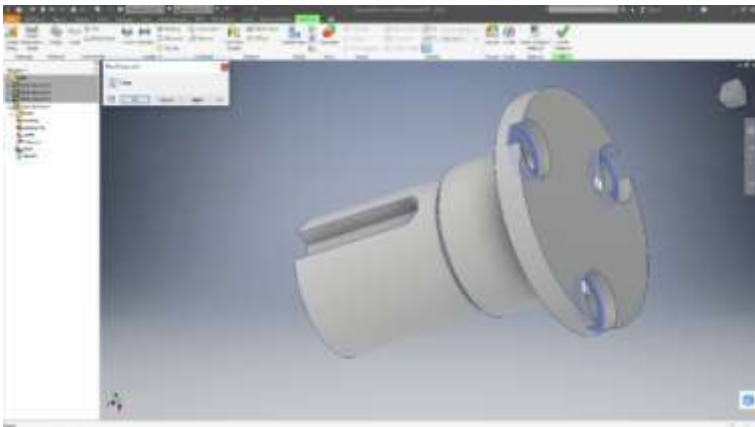
Pada bab 5 ini di jelaskan mengenai simulasi menggunakan *software Inventor*. Ada 4 komponen yang akan disimulasi menggunakan software tersebut, yakni:

### 5.1 Poros 1

Sebelum masuk ke simulasi, ditentukan terlebih dahulu material yang digunakan (Alumunium). Menentukan *boundary condition* pada poros 1 berupa penentuan *fixed support*, *meshing* (*von misses*), dan *force load*. Langkah-langkah:

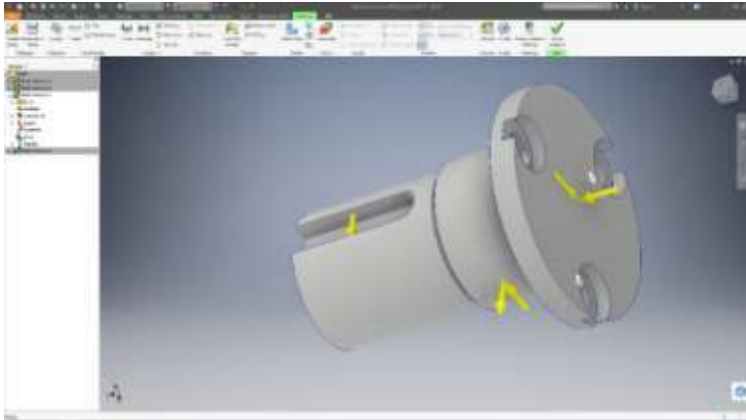
#### *Menentukan letak fixed support*

Penentuan *fixed support* terdapat pada tiga titik ujung poros 1, karena pada titik tersebut bersentuhan langsung dengan base holder spindle.



**Gambar 5.1** *Fixed Support* Poros 1

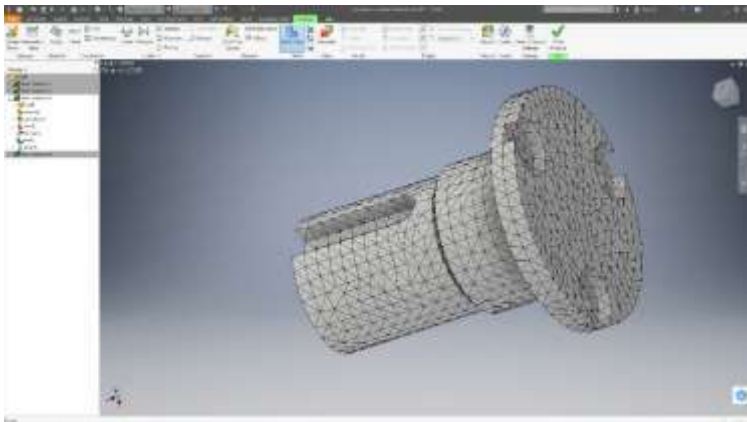
*Menentukan arah dan memasukkan nilai force*



**Gambar 5.2** *Force* Poros 1

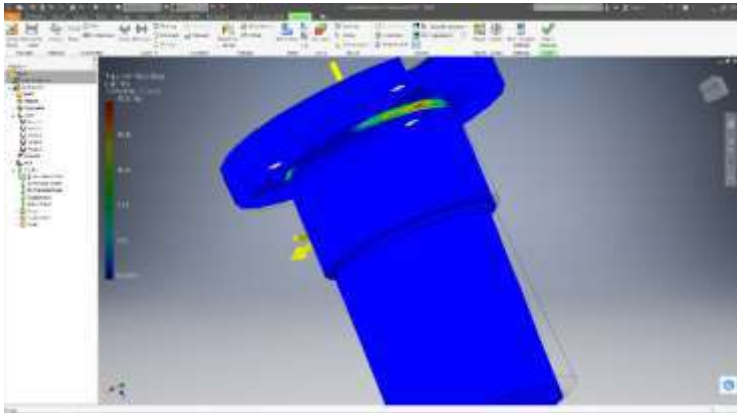
Dilakukan penentuan arah gaya yang bekerja pada poros 1 dan memasukkan nilai *force load* sesuai dengan perhitungan yang dilakukan pada bab sebelumnya. Gaya yang bekerja pada poros sejajar dengan sumbu x, y, dan z.

*Meshing (Von Mises)*



**Gambar 5.3** *Meshing* Poros 1

## Simulasi



**Gambar 5.4** Simulasi Poros 1

Dari simulasi yang dilakukan menggunakan *software Inventor* didapat tegangan maksimal yang terjadi yakni 17,69 Mpa. Dan tegangan maximum terletak pada gambar berikut:



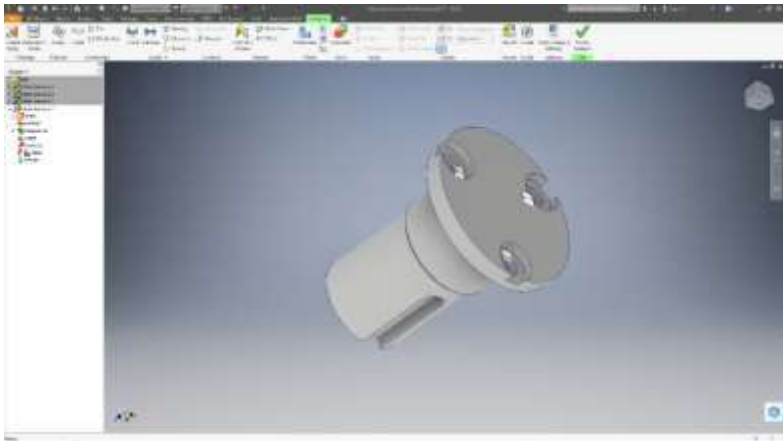
**Gambar 5.5** Letak Tegangan Maksimum Poros 1

## 5.2 Poros 2

Material yang digunakan pada poros 1 sama dengan poros 2 yakni aluminium. Dimana aluminium memiliki massa jenis yang lebih kecil daripada masa jenis ASTM 36. Menentukan *boundary condition* pada poros 2 berupa penentuan *fixed support*, *meshing* (*von misses*), dan *force load*. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

### *Menentukan letak fixed support*

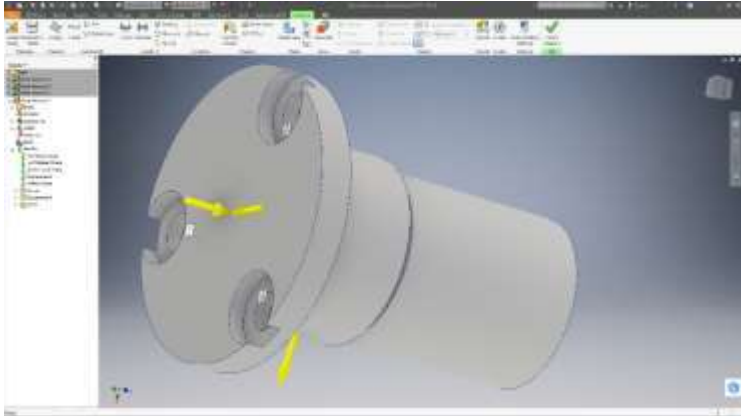
Penentuan *fixed support* terdapat pada tiga titik ujung poros 2, karena pada titik tersebut bersentuhan langsung dengan base holder spindle.



**Gambar 5.6** *Fixed Support* Poros 2

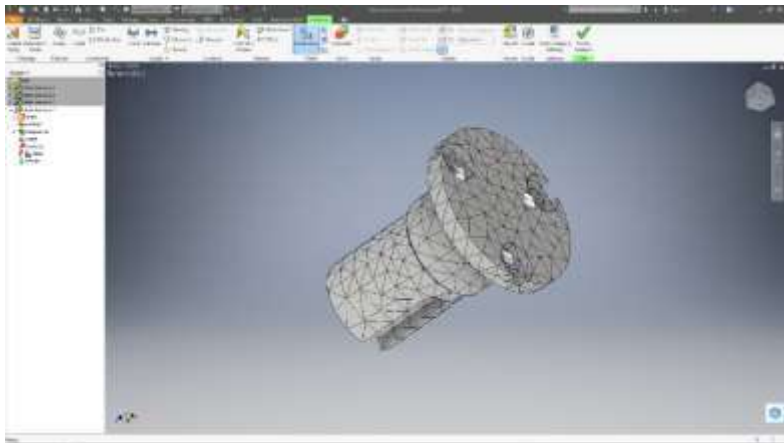
### *Menentukan arah dan memasukkan nilai force load*

**Gambar 5.7** *Force load* Poros 2



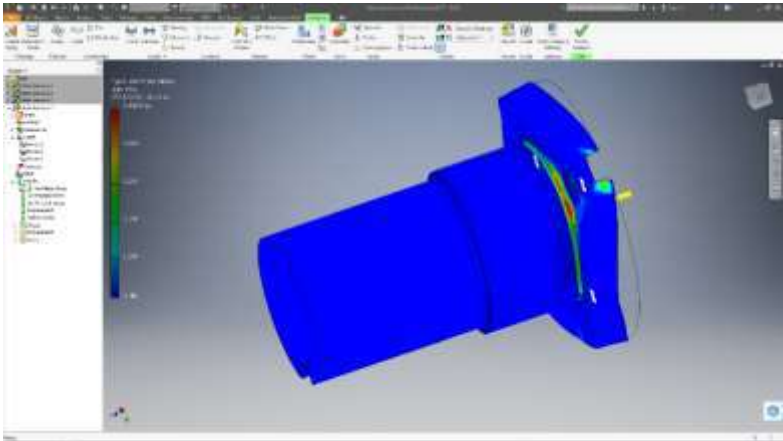
Dilakukan penentuan arah gaya yang bekerja pada poros 2 dan memasukkan nilai *force load* sesuai dengan perhitungan yang dilakukan pada bab sebelumnya. Gaya yang bekerja pada poros sejajar dengan sumbu x, y, dan z.

### *Meshing*



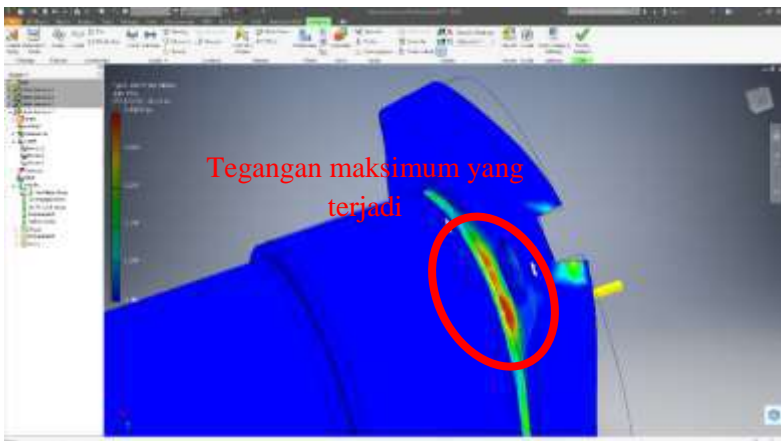
**Gambar 5.8** *Meshing* Poros 2

## Simulasi



**Gambar 5.9** Simulasi Poros 2

Dari simulasi yang dilakukan menggunakan *software Inventor* didapat tegangan maksimal yang terjadi yakni 5,486 Mpa. Dan tegangan maximum terletak pada gambar berikut:



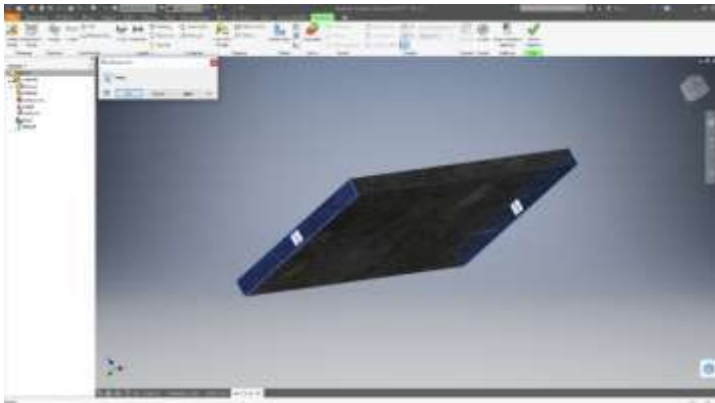
**Gambar 5.10** Letak Tegangan Maksimum Poros 2

### 5.3 Base 4 Axis

Material yang digunakan pada Base 4 Axis yakni ASTM A36. Menentukan *boundary condition* pada base 4 Axis berupa penentuan *fixed support*, *meshing (von misses)*, dan *force load*. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

#### *Menentukan letak fixed support*

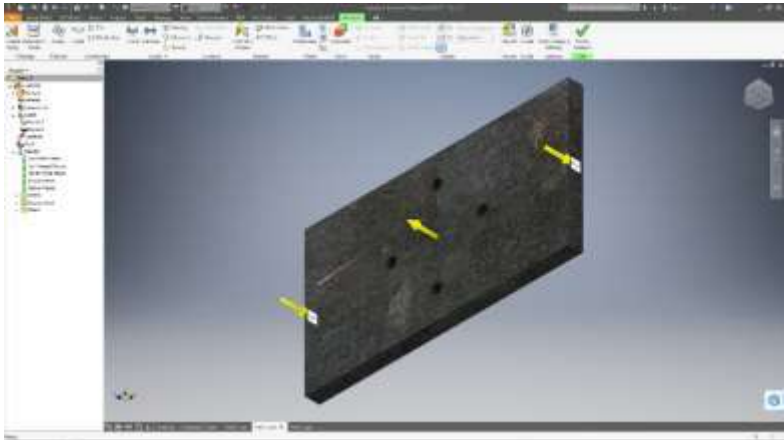
Penentuan Fixed Support pada part 3 base 4 Axis pada ujung dan pangkal pada part 3 base 4 Axis, karena pada kedua sisi tersebut bersentuhan langsung dengan part 1 dan part 2 base 4 Axis.



**Gambar 5.12** *Fixed Support* Base 4 Axis



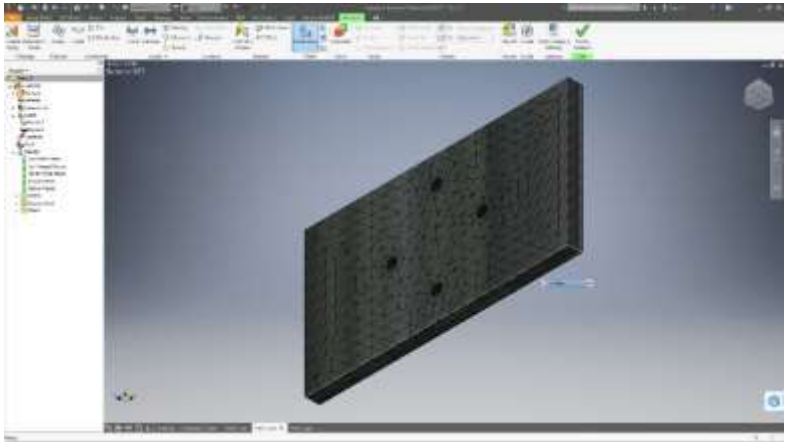
*Menentukan arah dan memasukkan nilai force load*



**Gambar 5.12** *Force load* Base 4 Axis

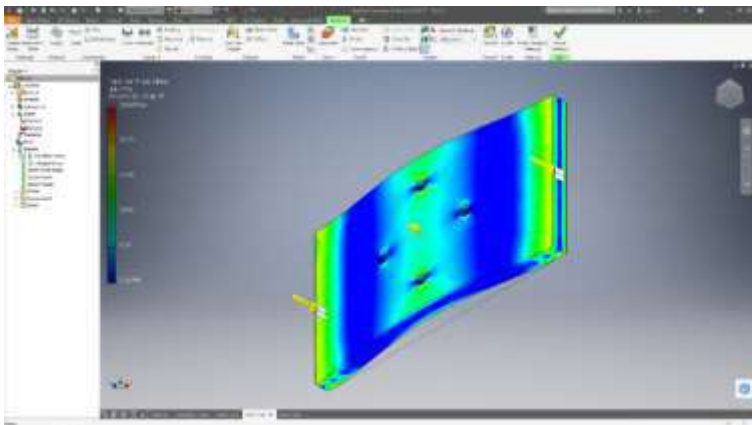
Dilakukan penentuan arah gaya yang bekerja pada base 4 axis dan memasukkan nilai *force load* sesuai dengan perhitungan yang dilakukan pada bab sebelumnya. Gaya yang bekerja pada base 4 axis sejajar dengan sumbu z. Dilakukan simulasi menggunakan part 3 pada base 4 Axis dikarenakan pada part ini menerima beban paling besar disbanding dengan part 1 dan part 2.

## *Meshing*



**Gambar 5.13** *Meshing* Force Base 4 Axis

## *Simulasi*



**Gambar 5.14** Simulasi Base 4 Axis

Dari simulasi yang dilakukan menggunakan *software Inventor* didapat tegangan maksimal yang terjadi yakni 29.68 Mpa. Dan tegangan maximum terletak pada gambar berikut:



**Gambar 5.15** Letak Tegangan Maksimum Base 4 Axis

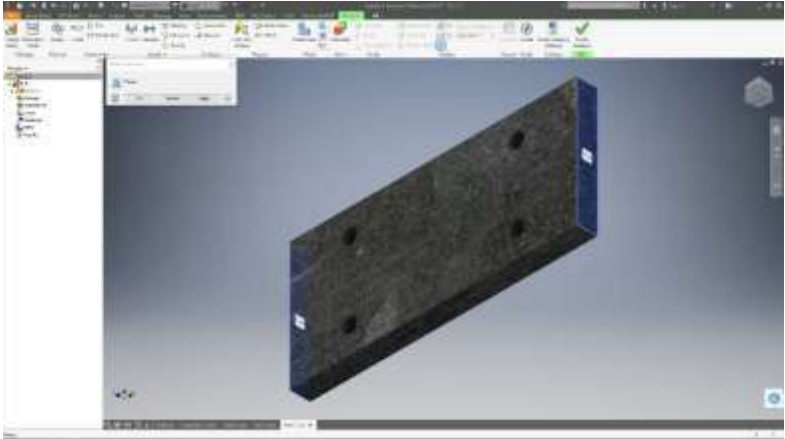
#### **5.4 Base Holder Spindle**

Material yang digunakan pada base holder spindle yakni ASTM A36. Menentukan *boundary condition* pada poros 1 berupa penentuan *fixed support*, *meshing (von misses)*, dan *force load*. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

*Menentukan letak fixed support support*

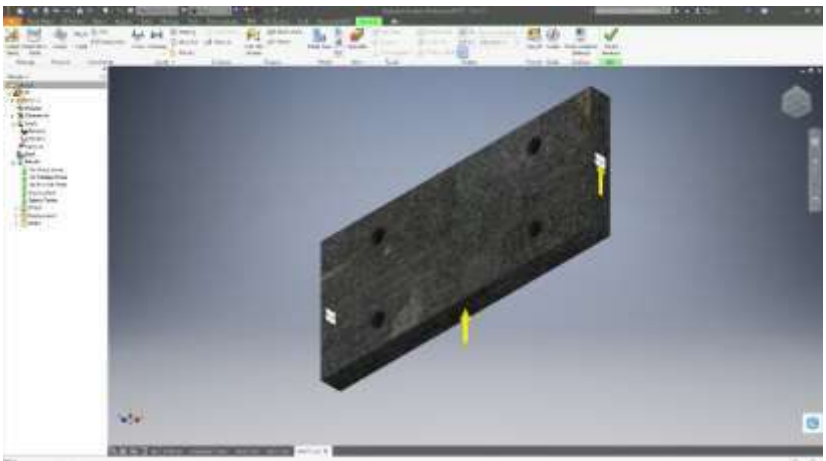
Penentuan *Fixed Support* pada part 2 base holder spindle pada ujung dan pangkal pada part 2 base holder spindle, karena pada

kedua sisi tersebut bersentuhan langsung dengan part 1 dan part 3 base holder spindle.



**Gambar 5.16** *Fixed Support* Base Holder Spindle

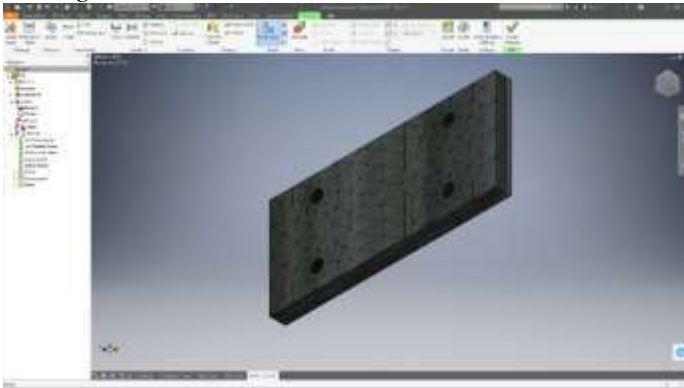
*Menentukan arah dan memasukkan nilai force load*



**Gambar 5.17** *Force load* Base Holder Spindle

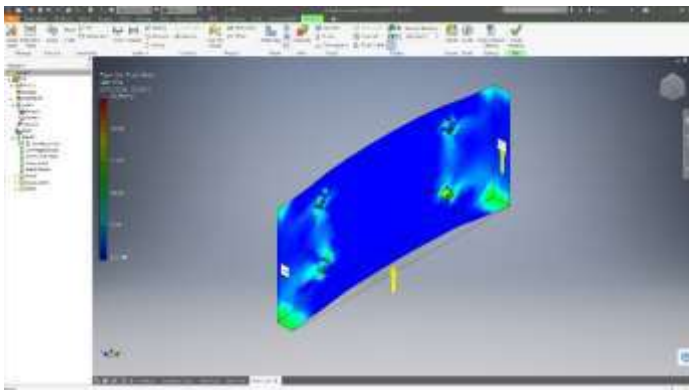
Dilakukan penentuan arah gaya yang bekerja pada base holder spindle dan memasukkan nilai *force load* sesuai dengan perhitungan yang dilakukan pada bab sebelumnya. Gaya yang bekerja pada base holder spindle sejajar dengan sumbu y. Dilakukan simulasi menggunakan part 3 pada base 4 Axis dikarenakan pada part ini menerima beban paling besar disbanding dengan part 1 dan part 2.

### *Meshing*



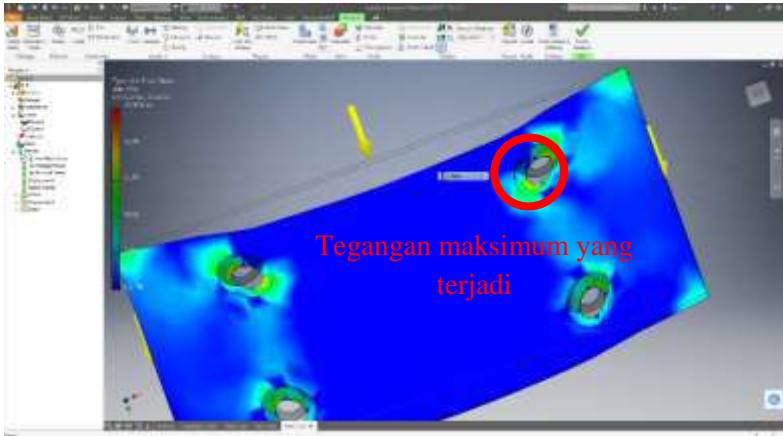
**Gambar 5.18** *Meshing* Base Holder Spindle

### *Simulasi*



**Gambar 5.19** Simulasi Base Holder Spindle

Dan didapat tegangan maksimal yang terjadi yakni 23.35 Mpa. Dan posisi atau letak dari tegangan maksimal itu sendiri:



**Gambar 5.20** Letak Tegangan Maksimum Base Holder Spindle

Dengan perbandingan hasil perhitungan manual dengan hasil simulasi menggunakan *software Inventor* yakni:

No	Komponen	Hasil Perhitungan Manual	Hasil Simulasi
1	Poros 1	15,983 MPa	17,69 MPa
2	Poros 2	7,579 MPa	5,486 MPa
3	Base 4 Axis	28,893 MPa	29,68 MPa
4	Base Holder Spindle	25,240 MPa	23,35 MPa

**Tabel 5.1** Perbandingan Hasil Perhitungan dengan Simulasi

Dapat dilihat dari table diatas, yakni hasil dari perhitungan manual dengan hasil simulasi memiliki selisih. Dimana selisih antara hasil perhitungan manual menggunakan rumus elemen

mesin dan hasil simulasi menggunakan software Inventor tidak boleh lebih besar dari 20%.

Didapat selisih dari perhitungan manual dan hasil simulasi dari poros 1 sebesar 10%. Pada poros 1 dilakukan perhitungan manual menggunakan rumus empiris untuk mencari gaya yang terjadi pada poros 1 dan menggunakan rumus elemen mesin untuk mencari tegangan maksimum dari poros 1 yang akan dibandingkan dengan tegangan ijin poros 1. Dengan *safety factor* pada poros 1 yakni 1,5, dengan material yang digunakan aluminium. Dimana tegangan maksimal akan lebih kecil daripada sama dengan tegangan ijin.

Untuk simulasi menggunakan *software Inventor* variable-variable yang dimasukkan yaitu *force loading*, *meshing*, dan material yang digunakan. Dimana pada *Software Inventor* menggunakan variable-variable yang tidak ada pada perhitungan manual. Karena tidak menggunakan rumus empiris ataupun rumus elemen mesin untuk mendapatkan hasil yang hampir mendekati.

Sedangkan untuk perhitungan manual dan hasil simulasi poros 2 mendapatkan selisih perbandingan sebesar 27%. Pada realitanya dalam perhitungan manual terdapat gaya-gaya yang diterima pada poros 1 berbeda dengan gaya-gaya yang diterima oleh poros 2. Namun dalam perhitungan statikanya, sama halnya dengan poros 1 yakni menggunakan rumus sigma ( $\sum F=0$  dan  $\sum M=0$ ) untuk mencari *force loading* yang terjadi dan gaya momen yang terjadi poros 2. Setelah didapat gaya-gaya yang terjadi dilanjut dengan menggunakan rumus elemen mesin dan didapat tegangan maksimal yang terjadi. Kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan tegangan ijin dengan *safety factor* 1,5, menggunakan material aluminium.

Untuk simulasi menggunakan *software Inventor* dengan *boundary condition* yang dimasukkan yaitu *force loading*, *von mises*, dan penentuan material. Pada simulasi menggunakan *software inventor* dilakukan penentuan material diawal simulasi. Dan menggunakan rumus yang otomatis. Sehingga didapat perhitungan simulasi berbeda dengan hasil perhitungan manual.

Oleh karena itu pada poros 2 didapat hasil simulasi lebih kecil dibanding dengan hasil perhitungan manual. Karena pada simulasi memang dilakukan perhitungan dinamik atau perhitungan menggunakan von mises dimana pada perhitungan manual tidak ada, sedangkan Tugas Akhir yang saya kerjakan tidak sampai dengan perhitungan tersebut.

Sama halnya dengan poros 1 dan poros 2, pada base 4 axis juga menggunakan perhitungan manual dengan metode elemen mesin untuk mencari tegangan maksimal dimana besar tegangan maksimal lebih kecil dari sama dengan tegangan ijin. dan pada base 4 axis menggunakan material ASTM A36. Untuk simulasi masih sama dengan poros 1 dan poros 2 yakni menggunakan software Inventor dengan *boundary condition* yang di masukkan yakni *force loading*, *von mises* atau *meshing*, dan material yang digunakan. Sehingga didapat perbandingan atau selisih hasil perhitungan manual dengan hasil simulasi sebesar 2%.

Pada base holder spindle pula dilakukan perhitungan menggunakan perhitungan manual dengan metode elemen mesin, dan didapat tegangan maksimal pada holder spindle lebih kecil sama dengan tegangan ijin dengan safety factor 1,5 , dan material yang digunakan untuk base holder spindle yakni material ASTM A36. Kemudian dilakukan simulasi menggunakan software Inventor sehingga didapat tegangan maksimum yang terjadi dan menentukan *boundary condition* dari base holder spindle yakni *force loading*, *von mises*, dan penentuan material. Sehingga didapat hasil simulasi dan hasil perhitungan manual didapat selisih sebesar 7%. Terdapat selisih antara perhitungan manual dengan hasil simulasi menggunakan Inventor dikarenakan memang pada simulasi terdapat perhitunagn secara dinamik, sedangkan pada tugas Akhir yang saya buat pada perhitungan statika.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB VI PENUTUP**

### **6.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisa gaya yang telah dilakukan pada komponen Mesin *WCM 1000 5 Axis* diperoleh penentuan gaya-gaya yang terjadi pada sumbu *vertical* menggunakan metode perhitungan statika dengan rumus hukum sigma. Dan akan didapat gaya-gaya apa yang terjadi, sehingga dapat dilanjutka perhitungan menggunakan metode elemen mesin, untuk penentuan material apa yang digunakan.

Sehingga dapat dilanjutkan untuk dilakukan sebuah simulasi menggunakan Software Inventor dengan boundary condition berupa *fixed support, force loding*, dan penentuan material yang digunakan. Dengan diperoleh hasil perbandingan dari perhitungan manual menggunakan rumus statika dan elemen mesin dengan hasil menggunakan *Software Inventor* yakni:

No	Komponen	Hasil Perhitungan Manual	Hasil Simulasi
1	Poros 1	15,983 Mpa	17,69 Mpa
2	Poros 2	7,579 Mpa	5,486 Mpa
3	Base 4 Axis	28,893 Mpa	29,68 Mpa
4	Base Holder Spindle	25,240 Mpa	23,35 Mpa

**Tabel 6.1** Perbandingan Perhitungan Manual dengan Simulasi

### **6.2 Saran**

Dalam penelitian ini masih banyak hal yang harus dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Oleh karena itu diberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Untuk hasil yang lebih maksimal, perlu dilakukan perhitungan pada komponen-komponen yang lainnya. Seperti komponen *gantry* dan meja.

2. Diperlukan perhitungan dinamika dan *finite element* lebih menyeluruh agar hasil lebih maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- M.J.T Lewis. 1993. Gearing in the Ancient World. Jurnal **Endeavour** 17: 110.
- Canfield S. 1997. *Dynamics of Machinery*. Tennessee Tech University, Department of Mechanical Engineering
- Deutschment, Aaron. 1990. *Machine Design Theory*. Collier Macmillan International Edition, London.
- Adhitama, Tahta. 2016. *Recalculations the components of impact tester based on machine element, Final Project, Manufacture Engineering*. Supuluh Nopember Institute of technology, Surabaya.
- Mott, Robert L. 2004. **Machine Elements in Mechanical Design 4<sup>th</sup> Edition**. University of Dayton, Ohio, USA.
- Suhariyanto. 2007. **Diktat Elemen Mesin**. D3 Teknik Mesin, FTI-ITS.
- Hibbeler. R. C. 2009. *Mechanics of Material, 3th Edition*, Prentice-Hall.
- Hibbeler. R. C. 2009. *Engineering Mechanics-Statics, 12th Edition*, Prentice-Hall.

Table Konversi Satuan

## Appendix

TABLE I  
DEFINITIONS AND CONVERSION FACTORS†*Abbreviations and Symbols*

	g gram	J joule	m meter	N newton	s second	W watt				
Prefix.....	mega	kilo	hecto	deka	deci	centi	milli	micro	nano	pico
Symbol.....	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p
Factor.....	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-12</sup>

IT International Steam Table units (otherwise, thermochemical).

int International units of 1948 (obsolete).

First entry in each of the following groups is the basic SI definition. Asterisk (\*) denotes exact definition.

*Length*

(The *meter*\* m, the basic unit of length, is equal to 1,650,763.73 wavelengths of the radiation emitted by electron transition between two particular energy levels of krypton 86.) (Sec. 4-16)

1 m = 3.280840 ft = 39.37008 in. = (10<sup>10</sup>)\* angstrom

1 ft = 0.3048\* m = 12\* in. 1 in. = 0.0254\* m

1 U.S. mile = 1,609.344\* m = 5,280\* ft = 0.8689762 U.S. (and international) nautical mile.

*Mass‡*

(The *kilogram*\* kg, the basic unit of mass, is equal to a particular cylinder of platinum-iridium alloy, called the International Prototype Kilogram, which is preserved in a vault at Sèvres, France.)

1 kg = 2.204623 lb = 0.06852177 slug = (10<sup>-3</sup>)\* metric ton

1 lb = 453.59237\* g = 16 oz = 7,000 grain

1 slug = 14.59390 kg = 32.1740 lb

1 ton = 2,000\* lb = 0.9071847 metric ton

†Abridged from E. Mechtly, "The International System (SI) of Units," NASA SP-7012 (1964), and R. Wilhoit, W. Hathaway: API Research Project 44 (December 1966).

‡Symbols kg, lb, etc. for mass units, and kg<sub>f</sub>, lb<sub>f</sub>, etc. for force units.

$$1 \text{ IT cal} = 4.1868 \text{ J} = 1.000669 \text{ cal} = 0.003968321 \text{ IT Btu} = 3.088025 \text{ ft-lb}_f$$

$$1 \text{ IT Btu} = 1055.056 \text{ J} = 251.9958 \text{ IT cal} = 252.1644 \text{ cal} = 778.1693 \text{ ft-lb}_f = 10.41259 \text{ liter-atm}$$

$$1 \text{ ft-lb}_f = 1.355818 \text{ J} = 0.3240483 \text{ cal} = 0.001285067 \text{ IT Btu} = 0.1382549 \text{ kg}_f\text{-m}$$

$$1 \text{ kw-hr} = 3,600,000 \text{ J} = 3412.142 \text{ IT Btu} = 1.341022 \text{ hp-hr} = 2,655,224 \text{ ft-lb}_f$$

$$1 \text{ hp-hr} = 1,980,000 \text{ ft-lb}_f = 2,684,519 \text{ J} = 2544.433 \text{ IT Btu}$$

#### Power

(The *watt*\* W, the basic unit of power, is equal to the energy rate of 1 joule per second.)

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ m} \cdot \text{N/s} = (10^7) \text{ erg/sec}$$

$$1 \text{ cal/s} = 4.184 \text{ W} = 3.08596 \text{ ft-lb}_f/\text{s} = 0.426649 \text{ m-kg}_f/\text{s}$$

$$1 \text{ m-kg}_f/\text{s} = 9.80665 \text{ W} = 7.23298 \text{ ft-lb}_f/\text{s}$$

$$1 \text{ hp (mech)} = 745.69987 \text{ W} = 550 \text{ ft-lb}_f/\text{s} = 33,000 \text{ ft-lb}_f/\text{min} = 2544.433 \text{ IT Btu/hr} = 1.01387 \text{ hp (metric)} = 0.999598 \text{ hp (elect)}$$

$$\checkmark 1 \text{ hp (elect)} = 746 \text{ W} = 1.00040 \text{ hp (mech)} = 1.01428 \text{ hp (metric)}$$

$$1 \text{ hp (metric)} = 735.499 \text{ W} = 75 \text{ m-kg}_f/\text{s} = 542.476 \text{ ft-lb}_f/\text{s}$$

$$1 \text{ hp (boiler)} = 13.1548 \text{ hp (mech)}$$

#### Specific Energy

$$1 \text{ cal/g} = 4.1840 \text{ J/g} = 1.798796 \text{ IT Btu/lb}$$

$$1 \text{ IT cal/g} = 4.1868 \text{ J/g} = 1.8 \text{ IT Btu/lb}$$

#### Specific Energy per Degree

$$1 \text{ cal/g}^\circ\text{K} = 4.1840 \text{ J/g}^\circ\text{K} = 0.9993312 \text{ IT Btu/lb}^\circ\text{R}$$

1 IT cal/g<sup>o</sup>K = 4.1868 J/g<sup>o</sup>K = 1\* IT Btu/lb<sup>o</sup>R (Definition† of IT Btu).

$$1 \text{ IT Btu/lb}^\circ\text{R} = 1.000669 \text{ cal/g}^\circ\text{K}$$

#### Speed

$$1 \text{ ft/s} = 0.3048 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ mile (U.S.)/hr} = 0.44704 \text{ m/s} = 1.609344 \text{ km/hr} = 0.8689762$$

$$\text{knot} = 1.466667 \text{ ft/s}$$

#### Area

$$1 \text{ in.}^2 = 6.4516 \text{ cm}^2 \quad 1 \text{ ft}^2 = 929.0304 \text{ cm}^2 = 144 \text{ in.}^2$$

†A "thermochemical" Btu is also found in the literature, and defined by 1 cal/g<sup>o</sup>K = 1 Btu/lb<sup>o</sup>R.

### Time

(The *second*,\* the basic unit of time, is equal to that defined by the frequency, 9,192,631,770 cycle/sec, of the radiation emitted by electron transition between two particular energy levels of cesium 133.)

$$1 \text{ hr} = 3,600^* \text{ s} = 60^* \text{ min}$$

### Acceleration

$$g_0 = \text{standard acceleration of gravity} = 9.80665^* \text{ m/s}^2$$

$$= 32.17405 \text{ ft/s}^2$$

$$1 \text{ ft/sec}^2 = 0.3048^* \text{ m/s}^2$$

### Force

(The *newton*\* N, the basic unit of force, is equal to the force which will accelerate a mass of 1 kilogram at the rate of 1 meter per second per second.)

$$1 \text{ N} = (10^5)^* \text{ dyne} = 0.1019716 \text{ kg}_f = 0.2248089 \text{ lb}_f$$

$$\sim 1 \text{ kg}_f = 9.80665^* \text{ N} = 1^* \text{ kilopond force} = 2.204623 \text{ lb}_f$$

$$1 \text{ lb}_f = 4.4482216152605^* \text{ N} = 16 \text{ oz} = (10^{-3})^* \text{ kip}$$

### Pressure

$$1 \text{ atm} = 101,325^* \text{ N/m}^2 = 1.01325^* \text{ bar} = 14.69595 \text{ lb}_f/\text{in.}^2 = 29.92129 \text{ in. Hg (32}^\circ\text{F)} = 76 \text{ cm Hg (0}^\circ\text{C)} = 33.93615 \text{ ft H}_2\text{O (60}^\circ\text{F)} = 1.033227 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$$

$$1 \text{ bar} = (10^6)^* \text{ dyne/cm}^2 = 14.50377 \text{ lb}_f/\text{in.}^2 = 1.019716 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$$

$$1 \text{ kg}_f/\text{cm}^2 = 14.22334 \text{ lb}_f/\text{in.}^2 = 735.5592 \text{ mm Hg (0}^\circ\text{C)} (\text{torr})$$

$$1 \text{ lb}_f/\text{in.}^2 = 2.036023 \text{ in. Hg (32}^\circ\text{F)} = 2.309218 \text{ ft H}_2\text{O (60}^\circ\text{F)}$$

$$1 \text{ torr} = 1^* \text{ mm Hg(0}^\circ\text{C)}$$

### Temperature

(The *thermodynamic Kelvin temperature*\* K is equal to that defined by the Carnot cycle when the triple-point temperature of water is assigned a value of exactly 273.16°K.) (Ice point: 273.1500°K  $\pm$  0.0001.)

$$^* \text{K} = ^\circ\text{C} + 273.15 \quad ^\circ\text{F} = 1.8^\circ\text{C} + 32$$

$$^* \text{R} = ^\circ\text{F} + 459.67 \quad 1.8^* \text{K} = ^\circ\text{R}$$

### Energy†

(The *joule*\* J, the basic unit of energy, is equal to the energy of a force of 1 newton acting through a distance of 1 meter.)

$$1 \text{ J} = 1 \text{ m}\cdot\text{N}^* = (10^7)^* \text{ erg} = 0.999835 \text{ int J} = 0.1019716 \text{ m}\cdot\text{kg}_f = 0.7375622 \text{ ft}\cdot\text{lb}_f$$

$$\sqrt{1 \text{ cal} = 4.184^* \text{ J} = 0.9993312 \text{ IT cal} = 0.003965667 \text{ IT Btu} = 3.08596 \text{ ft}\cdot\text{lb}_f}$$

†The IT Btu (Btu) and the thermochemical calorie (cal) are the units of the text.

### Density

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1,000 * \text{ kg/m}^3 = 0.03612728 \text{ lb/in.}^3 = 62.42795 \text{ lb/ft}^3 = 8.345403 \text{ lb/gal (U.S.)}$$

$$1 \text{ slug/ft}^3 = 32.1740 \text{ lb/ft}^3 = 0.515379 \text{ g/cm}^3$$

### Volume

$$1 \text{ liter} = 0.001 * \text{ m}^3 = 1,000 \text{ cm}^3 = 61.02375 \text{ in.}^3$$

$$1 \text{ ft}^3 = 1728 * \text{ in.}^3 = 28,316.85 \text{ cm}^3 = 6.22889 \text{ gal (British)} = 7.48052 \text{ gal (U.S.)}$$

$$1 \text{ gal (U.S.)} = 231 * \text{ in.}^3 = 0.83267 \text{ gal (Canada)}$$

### Gas Constant

$$R_0 = 8.3143 * \frac{\text{J}}{\text{g mole} * ^\circ\text{K}} = 1.98717 \frac{\text{cal}}{\text{g mole} * ^\circ\text{K}} = 82.0561 \frac{\text{atm cm}^3}{\text{g mole} * ^\circ\text{K}}$$

$$R_0 = 1.98584 \frac{\text{IT Btu}}{\text{mole} * ^\circ\text{R}} = 1545.32 \frac{\text{ft-lb}_f}{\text{mole} * ^\circ\text{R}} = 10.7314 \frac{\text{psi ft}^3}{\text{mole} * ^\circ\text{R}}$$

### Other

**Mole (unified):** The amount of substance containing the same number of units (molecules, atoms, ions, electrons, etc.) as there are atoms in 12 grams of the pure nuclide carbon-12. (g mole is gram mole; mole is pound mole).

**Avogadro number  $N$ :**  $6.02252(10)^{23}$  molecules/mole

$$g_c = \text{unity} = 32.1740 \frac{\text{lb ft}}{\text{lb}_f \text{ s}^2} = 1 \frac{\text{kg m}}{\text{Ns}^2} = 1 \frac{\text{g cm}}{\text{dyne s}^2} = 1 \frac{\text{slug ft}}{\text{lb}_f \text{ s}^2}$$

$$\ln_x x = 2.3025851 \log_{10} x \quad 1 \text{ radian} = 57.296 \text{ degrees}$$

$$c_p (\text{water}) \approx 1 \text{ Btu}/(\text{lb}_m)(^\circ\text{R})$$

$$c_p (\text{iron or steel}) \approx 0.2 \text{ Btu}/(\text{lb}_m)(^\circ\text{R})$$



## Lampiran 2

### Spesifikasi Motor

Model	ECMA-C10604RS
Product Name	Electronic Commutation Motor
Servo Type	AC Servo
<b>Corresponding Servo Motor</b>	<b>ASD-A2-0421-L</b> <b>ASD-A2-0421-M</b> <b>ASD-A2-0421-U</b> <b>ASD-A2-0421-E</b>
Rated Voltage	220V
Encoder Type	Incremental type, 20-bit
Motor Frame Size	60 mm
Type of Shaft Diameter and Oil Seal	Keyway (with fixed screw holes), w/o brake, with oil seal
Standard Shaft Diameter	S=14m
Rated Power Output	400W
Rated torque (N-m)	1.27
Max. torque (N-m)	3.82
Rated Speed	3000 rpm
Max. speed	5000 rpm
Rated current (A)	2.6 A
Max. instantaneous current (A)	7.8 A
Power rating (kW/s)	57.6
Rotor inertia ( $\times 10^{-4}$ kg.m <sup>2</sup> )	0.277
Mechanical constant (ms)	0.53
Torque constant-KT (N-m/A)	0.49
Voltage constant-KE (mV/(r/min))	17.4
Armature resistance (Ohm)	1.55
Armature inductance (mH)	6.71
Electric constant (ms)	4.30
Insulation class	Class A (UL), Class B (CE)
Insulation resistance	> 100 M ohm , DC 500 V
Insulation strength	1.8k Vac, 1 sec
Weight (kg) (without brake)	1.6Kg

Radial max. loading (N)	196
Axial max. loading (N)	68
Power rating (kW/s) (with brake)	53.8
Rotor inertia ( $\times 10^{-4}$ kg.m <sup>2</sup> ) (with brake)	0.30
Mechanical constant (ms) (with brake)	0.57
Vibration grade ( $\mu$ m)	15
Operating temperature	0~40 degree centigrade
Storage temperature	-10~80 degree centigrade
Operating humidity	20~90% RH Non-condensate
Storage humidity	20~90% RH Non-condensate
Vibration capacity	2.5G
IP Rating	IP65
Approvals	CE UL

## BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 4 Juli 1996 di Gresik, Provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SD NU 1 Gresik, SMPN 1 Gresik, SMAN 1 Gresik. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, dan penulis mengambil bidang studi Manufaktur di Institut Teknologi

Sepuluh Nopember pada tahun 2015. Penulis aktif sebagai Asisten Praktikum (Grader) Mata Kuliah Proses Manufaktur dan Pemesinan Logam, selain itu penulis juga pernah mengikuti pelatihan Software Inventor yang diadakan oleh Decimo. Ketertarikan penulis dalam bidang keorganisasian membuat penulis aktif dalam kegiatan-kegiatan organisasi di lingkungan kampus diantaranya di HMDM tepatnya pada Sekretaris 1. Selain minat keorganisasian penulis juga tertarik pada bidang kepanitiaan membuat penulis aktif mengikuti kepanitiaan di HMDM. Pada masa itu penulis pernah mengikuti Pekan Kreativitas Mahasiswa dan terdandi pada bidang Penerapan Teknologi dengan judul “Optimasi Pisau Pemotong Jagung Untuk Meningkatkan Efektivitas Pemotong Jagung Muda Pada UD Samara Mart” dan “Mesin Ukir Otomatis Mini CNC 3 Axis dengan Software Mach-3 dalam Peningkatan Efisiensi Waktu dan Presisi di UKM Setia Ayu Surabaya”, dengan team yang berbeda. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi email : [nurulwiwid55@gmail.com](mailto:nurulwiwid55@gmail.com)