



## **ANALISIS STATIK STRUKTUR MESIN PEMADAT LOG JAMUR TIRAM BERKAPASITAS 300 LOG/JAM DENGAN MENGGUNAKAN COSMOSWORKS 2004™**

Encu Saefudin dan Tito Shantika  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional  
Jl. PKH. Mustapha No. 23, Bandung 40124  
[encu@itenas.ac.id](mailto:encu@itenas.ac.id), [tshantika@itenas.ac.id](mailto:tshantika@itenas.ac.id)

### **Abstract**

*Dengan bertambah pesatnya perkembangan pertanian jamur terutama jamur tiram di daerah Lembang, maka dibutuhkan mesin yang dapat membantu proses produksi jamur tiram salah satunya mesin pemadat log jamur tiram. Agar mesin pemadat log jamur dapat dihasilkan dengan faktor keamanan yang optimal dan masih dalam batas-batas kelayakan teknik yang baik, maka sebelum melakukan proses pembuatan atau bahkan sebelum melakukan pemasaran, mesin tersebut harus melalui tahap-tahap pengujian atau analisis terlebih dahulu dengan menggunakan software komputer. Keuntungan yang didapat dari cara ini adalah membantu produsen dalam menghemat biaya dan waktu produksi, sehingga dapat mengurangi harga jual di pasaran, selain itu juga untuk meningkatkan hasil produksi baik kualitas maupun kuantitasnya.*

*Dengan menggunakan software Autocad Mechanical Desktop 2006 dan SolidWorks 2005 untuk mendapatkan geometri model komponen mesin yang selanjutnya akan dianalisis menggunakan software CosmosWorks. Dengan software CosmosWorks untuk mendapatkan tegangan, regangan, defleksi serta faktor keamanan yang terjadi pada komponen mesin.*

*Setelah melakukan pemodelan dan , analisis statik terhadap mesin pemadat log jamur tiram, maka diperoleh hasil bahwa sebagian besar komponen memiliki faktor keamanan lebih dari satu yang artinya bahwa komponen dikategorikan aman.*

*Key words : pemodelan, analisis, tegangan, regangan, perpindahan dan faktor keamanan*

### **1. PENDAHULUAN**

Pada era globalisasi sekarang, banyak terjadi kemajuan di berbagai bidang, mulai dari sektor non industri hingga menjangkau ke berbagai sektor khususnya sektor industri. Tingkat kemajuan industri ditandai dengan berbagai macam penemuan terutama yang berkaitan dengan bidang konstruksi. Konstruksi sangat diperlukan untuk menunjang perkembangan industri. Adapun industri yang berhubungan dengan konstruksi salah satunya adalah industri rumah tangga. Pada industri rumah tangga, perancangan dalam bidang konstruksi mesin sangat penting dan akan berdampak vital apabila diabaikan. Mulai dari konstruksi rangka mesin hingga konstruksi poros yang akan digunakan untuk memindahkan daya atau torsi, semuanya memerlukan perhitungan dan data yang detail.

Dengan bertambah pesatnya perkembangan teknologi terutama di bidang komputer, baik dalam hal perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunaknya (*software*), maka tidak dapat dipungkiri bahwa hampir tidak ada bagian dalam kehidupan manusia pada zaman sekarang yang tidak dihubungkan dengan teknologi komputer ini. Manusia semakin lama semakin bergantung terhadap teknologi, dari hanya mengerjakan tugas perkantoran sampai dalam bidang kesehatan, perbankan, perancangan sistem kontrol, serta hal-hal lain yang menyangkut kebutuhan manusia itu sendiri, semua tidak lepas dari peranan komputer dan pencapaiannya.

Agar suatu produk dapat dihasilkan dengan faktor keamanan yang optimal dan masih dalam batas-batas kelayakan teknik yang baik, maka sebelum memasarkan produk atau bahkan sebelum melakukan proses produksi, suatu produk harus melalui tahap-tahap pengujian atau analisis terlebih dahulu dengan menggunakan komputer. Keuntungan yang didapat dari cara ini adalah membantu



produsen dalam menghemat biaya dan waktu produksi, sehingga dapat mengurangi harga jual di pasaran, selain itu juga untuk meningkatkan hasil produksi baik kualitas maupun kuantitasnya.

Dalam penelitian ini bertujuan membuat pemodelan dengan elemen solid (tiga dimensi) dari hasil perancangan, dengan menggunakan *software SolidWorks 2005* yang terintegrasi langsung dengan *COSMOSWorks 2004™*. Juga melakukan analisis statik tiap-tiap komponen hasil perancangan dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) menggunakan *software COSMOSWorks 2004™*.

Dalam penelitian ini dibatasi permasalahan pada pembuatan pemodelan, analisis kekuatan struktur secara statik meliputi analisis tegangan (*stress*), regangan (*strain*), perpindahan (*displacement*) dan mengetahui besarnya faktor keamanan (*Safety of Factor*). Seluruh proses diatas menggunakan *software COSMOSWorks 2004™*.

## 2. DASAR TEORI

Persamaan tegangan (*stress*) pada bidang tiga dimensi merupakan persamaan linear homogen dalam hubungannya dengan l, m, dan n. Satu-satunya pemecahan dapat diperoleh dengan membuat determinan koefisien l, m, dan n menjadi sama dengan nol, sebagai berikut :

$$\begin{vmatrix} \sigma - \sigma_x & -\tau_{yx} & -\tau_{zx} \\ -\tau_{xy} & \sigma - \sigma_y & -\tau_{zy} \\ -\tau_{xz} & -\tau_{yz} & \sigma - \sigma_z \end{vmatrix} = 0 \quad (2.1)$$

Pemecahan determinan tersebut menghasilkan persamaan pangkat tiga dalam  $\sigma$ .

$$\begin{aligned} \sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\sigma^2 + (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_x\sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)\sigma - \\ (\sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{xz} - \sigma_x\tau_{xy}^2 - \sigma_y\tau_{yz}^2 + \sigma_z\tau_{xz}^2) = 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

Ketiga akar persamaan merupakan ketiga tegangan utama  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , dan  $\sigma_3$ .

Regangan (*strain*) didefinisikan secara umum sebagai perbandingan perubahan panjang terhadap panjang awal, yaitu :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_o} = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L - L_o}{L_o} \quad (2.3)$$

dimana  $\varepsilon$  adalah regangan linear rata-rata dan  $\delta$  adalah deformasi

Perpindahan (*Displacement*) di setiap titik pada sumbu x, y, z benda tiga dimensi dapat dinyatakan dalam bentuk vektor (u, v, w), dapat ditulis dengan :

$$\{da\} = T_e \{dr\} \quad (2.4)$$

dimana {da} adalah vektor dengan komponen (du, dv, dw) dan {dr} adalah vektor dengan komponen (dx, dy, dz), dan  $T_e$  didefinisikan sebagai :

$$T_e = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$



Menurut teori Kriteria Tegangan *Von Mises* Maksimum, tegangan utama ( $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ) dapat dinyatakan dengan :

$$\sigma_{Von Mises} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2}{2}} \quad (2.6)$$

$$\sigma_{VM} \geq \sigma_{ijin}$$

Sehingga faktor keamanan (*Safety of Factor*) dapat dihitung :

$$FOS = \frac{\sigma_{ijin}}{\sigma_{Von Mises}} \quad (2.7)$$

### Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Bila dua elemen digabungkan menjadi satu konstruksi, dapat digunakan prinsip superposisi untuk menentukan kekakuan struktur dua elemen tadi. Gaya yang bekerja adalah :

$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & 0 \\ k_{21} & k_{22} + k_{22} & k_{23} \\ 0 & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \quad (2.8)$$

Elemen tersebut kemudian dirakit membentuk matriks kekakuan [K] untuk seluruh konstruksi.  $\{P\} = [K]\{u\}$  (2.9)

Pergeseran (u) tidak diketahui dan diselesaikan dengan persamaan (2.9) untuk menghitung pergeseran semua nodal. Bila pergeseran ini dikalikan dengan matriks koordinat posisi nodal [B] dan matriks konstanta elastik [D], maka diketahui tegangan pada setiap titik nodal.

$$\{\sigma\} = [D][B]\{u\} \quad (2.10)$$

## 3. PEMODELAN

Struktur analisis program *COSMOSWORKS 2004<sup>TM</sup>*, meliputi :

### 1. Penentuan Jenis Study

Sebelum proses analisis dilakukan, harus menentukan nama permasalahan (*study*), jenis analisis yang dibutuhkan (*analysis type*) serta tipe *mesh* (*mesh type*). Jenis analisis yang dibutuhkan antara lain *static, frequency, buckling, thermal* dan *optimization*, dalam hal ini dipilih jenis *static* karena seluruh komponen diasumsikan dalam keadaan statis. Tipe *mesh* yang tersedia ada tiga jenis, yaitu *solid mesh, shell mesh using mid-surfaces* dan *shell mesh using surfaces*. Karena pemodelan yang dibuat dalam bentuk tiga dimensi, maka *solid mesh* merupakan tipe *meshing* yang dianjurkan.

### 2. Penentuan Jenis Material

Jenis material yang digunakan adalah jenis material dari pemodelan yang akan dianalisis. Pada program *COSMOSWorks*, dapat dipilih jenis material yang telah tersedia dengan cara memilih *list from library* atau memasukkan data dari material yang diinginkan melalui pilihan *custom defined*. Satuan yang dapat digunakan adalah satuan *SI, English (IPS)* dan *Metric (MKS)*.

### 3. Pembentukan Jaring-Jaring Elemen dan Titik Nodal (*Meshing*)

Proses ini dilakukan secara otomatis oleh komputer. Sebelum melakukan *meshing*, dilakukan penentuan kualitas dengan cara menentukan bentuk elemennya, karena bentuk elemen akan menentukan jumlah nodalnya. Bentuk elemen yang digunakan oleh program *COSMOSWorks* ada dua, yaitu elemen linear tetrahedral yang umum digunakan pada analisis statik dan elemen *parabolic tetrahedral*.

Untuk mengatur kualitas *mesh*, dapat dilakukan dengan mengatur *slide bar* yang menunjukkan hasil *meshing* yang kasar (*coarse*) atau halus (*fine*). Ukuran elemen yang kecil akan menghasilkan kualitas *mesh* yang tinggi, dan akan membuat analisis lebih akurat.

Setelah melakukan proses *meshing*, titik nodal dengan sendirinya akan terbentuk dan titik koordinat setiap nodal pun dapat diketahui. Koordinat yang digunakan merupakan *rectangular* (X,Y,Z) pada titik nol (0,0,0) atau titik *origin*.

#### 4. Penentuan Jenis Tumpuan (*Restraint*)

Setelah proses *meshing* selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah memberikan tumpuan (*restraint*) pada pemodelan sesuai dengan Diagram Benda Bebas (DBB) dari perancangan. Jenis tumpuan (*restraint*) yang ada pada **COSMOSWorks** adalah *fixed, immovable (non translation), reference plane or axis, on flat face, on cylindrical face, dan on spherical face*.

Tumpuan tersebut dapat diterapkan pada permukaan bidang (*face*) dan rusuk atau garis pada bidang (*edge*). Posisi penerapan tumpuan tersebut akan terlihat pada *icon selected reference*.

#### 5. Pemberian Beban (*Load*)

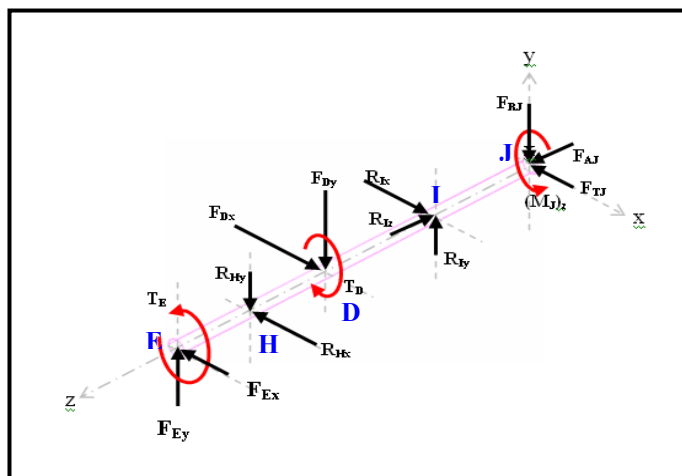
Setelah pemberian tumpuan (*restraint*) dilakukan maka langkah selanjutnya adalah pemberian beban (*load*). Jenis, besar dan arah beban dapat diterapkan pada pemodelan sesuai dengan DBB dari hasil perancangan. Tipe beban (*type load*) pada **COSMOSWorks** adalah *apply force / moment, apply normal force dan apply torque*.

#### 6. Tahap Analisis

Untuk melakukan proses analisis statik diperlukan masukan (*input*) berupa model yang telah dilakukan proses diskritisasi (*meshing*), identifikasi sambungan (*contact*), sifat-sifat mekanik material (*material properties*), tumpuan (*constrain*) dan beban (*load*). Kemudian analisis statik akan menghasilkan keluaran (*output*) berupa tegangan (*stress*), regangan (*strain*), perpindahan (*displacement*) dan faktor keamanan (*factor of safety*).

#### 4. CONTOH PEMODELAN

Dalam makalah ini akan disajikan contoh pemodelan dari satu komponen utama mesin pemadat log jamur tiram yaitu poros utama berupa poros engkol. Komponen tersebut dimodelkan sebagai poros pejal yang dimensinya bervariasi mulai dari diameter 32mm sampai 40mm dengan panjang total 300mm, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Keterangan :

E adalah puli engkol

D adalah puli penggerak

poros engkol H, I

berturut-turut adalah

bantalan 1 dan bantalan 2

J adalah roda gigi kerucut (*bevel gear*)

Gambar 4.1 Diagram Benda Bebas Poros Engkol

#### 1. Penentuan Jenis Permasalahan (*Study*)

Sebelum proses analisis dilakukan terlebih dahulu menentukan nama permasalahan (*study name*): Analisis Statik, jenis analisis yang dibutuhkan (*analysis type*): *Static*, serta tipe mesh (*mesh type*): *Solid Mesh*.

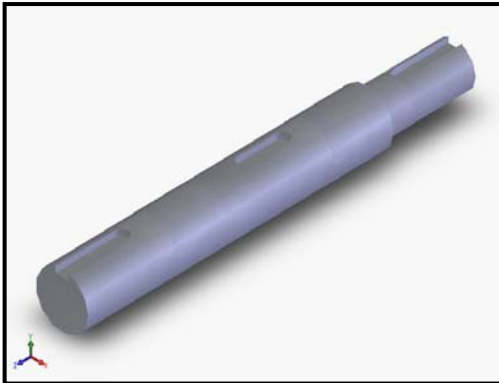
#### 2. Penentuan Jenis Material

Dari hasil perancangan, jenis material poros engkol adalah ST-70.

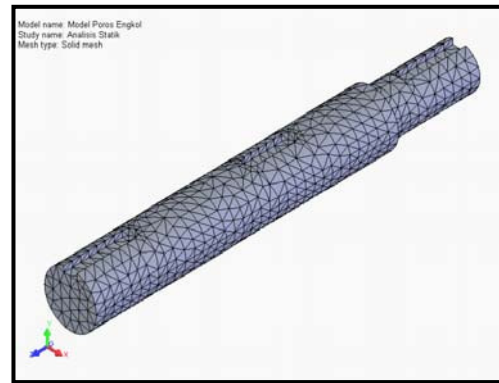
#### 3. Pembentukan *Meshing*

Dari hasil *meshing* didapatkan bahwa terdapat 13635 nodal dan 8752 elemen, dengan ukuran elemen 7,00537 mm dan toleransi antar elemen 0,350268 mm.

Gambar 4.3 dibawah ini merupakan pemodelan poros engkol setelah dilakukan proses *meshing*.



Gambar 4.2 Model Poros Engkol



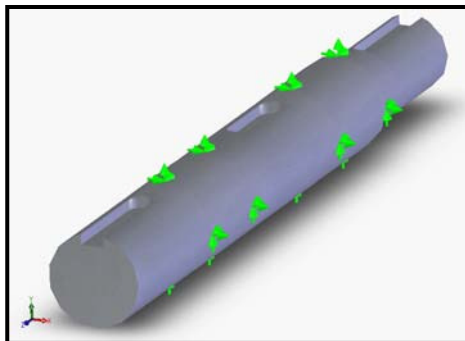
Gambar 4.3 Poros Engkol Setelah Proses *Meshing*

**4. Pemberian Tumpuan (*restraint*)**

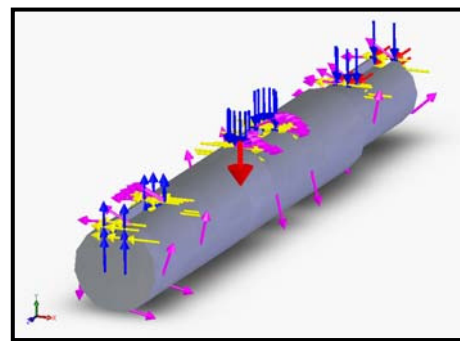
Pemberian tumpuan pada poros utama ini terdapat pada dua lokasi yaitu masing-masing pada bantalan dengan asumsi sebagai tumpuan *immovable (non translation)*, pada gambar 4.4.

**5. Penerapan Beban (*load*)**

Gaya-gaya yang terjadi pada poros engkol terdapat pada alur pasak puli penggerak poros, roda gigi kerucut dan alur pasak puli engkol. Pada alur pasak puli penggerak terdapat gaya  $F_{Dx} = 1447,10$  kg dan  $F_{Dy} = 138,54$  kg. Sedangkan pada roda gigi kerucut terdapat gaya  $F_{TJ} = 1087,12$  kg dalam arah tangensial,  $F_{RJ} = 279,79$  kg dalam arah radial dan  $F_{AJ} = 279,79$  kg dalam arah normal. Pada alur pasak puli engkol terdapat gaya  $F_{Ex} = 12,47$  kg dan  $F_{Ey} = 7,2$  kg. Torsi yang terjadi pada poros engkol  $T_D = 7202,113$  kg.cm pada alur pasak puli penggerak searah jarum jam (*CW*),  $T_J = 7066,267$  kg.cm pada alur pasak roda gigi kerucut berlawanan arah jarum jam (*CCW*) dan  $T_E = 135,846$  kg.cm pada alur pasak puli engkol berlawanan arah jarum jam (*CCW*). Sedangkan beban struktur didapat dari penerapan jenis material komponen dengan memasukkan percepatan gravitasi ( $9,81$  m/s<sup>2</sup>) pada *gravity*. Pemodelan poros engkol yang telah diberi pembebanan dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.4 Poros Engkol Setelah Diberi Tumpuan



Gambar 4.5 Poros Engkol Setelah Diberi Beban

5. ANALISIS STATIK

Hasil dari analisis statik meliputi tegangan, regangan, perpindahan dan faktor keamanan dari suatu struktur. Dalam makalah ini akan disajikan contoh hasil analisis statik dari satu komponen utama mesin pemadat log jamur tiram yaitu poros utama berupa poros engkol, sebagai berikut :

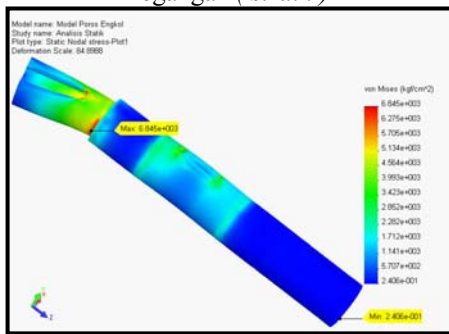
- Tegangan (*stress*)

Tegangan maksimum yang terjadi sebesar 6845,46 kgf/cm<sup>2</sup> terdapat pada nodal 163, yaitu pada bagian poros dekat bantalan dua. Hal ini terjadi karena pada bagian poros dekat bantalan dua mengalami pembebanan/momen lentur yang paling besar. Tegangan minimum terjadi pada bagian poros yang tidak menerima beban, yaitu pada nodal 9873 sebesar 0,240598 kgf/cm<sup>2</sup>, karena pada bagian poros tersebut tidak menerima pembebanan. Lokasi titik koordinat dapat dilihat pada tabel 5.1.

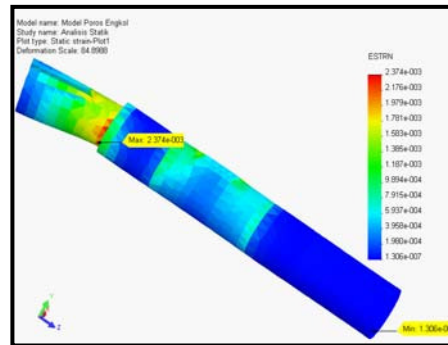
Tabel 5.1 Titik Koordinat Tegangan Maksimum dan Minimum Poros Utama

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot1	VON: von Mises stress	0.240598 kgf/cm <sup>2</sup> Node: 9873	(1838.26 mm, 2075.09 mm, 169.397 mm)	6845.46 kgf/cm <sup>2</sup> Node: 163	(1834.9 mm, 2109.58 mm, -85.0676 mm)

- Regangan (*strain*)



Gambar 5.1 Tegangan yang Terjadi pada Poros Engkol



Gambar 5.2 Regangan yang Terjadi pada Poros Engkol

Regangan maksimum yang terjadi sebesar 2,37434.10<sup>-3</sup> terdapat pada elemen 7397, yaitu pada bagian poros dekat bantalan dua. Hal ini terjadi karena pada bagian poros dekat bantalan satu terdapat tegangan yang paling besar. Regangan minimum terjadi pada bagian poros yang tidak menerima beban yaitu pada elemen 4553 sebesar 1,306.10<sup>-7</sup>, karena tegangan yang terjadi pada bagian poros tersebut lebih kecil. Hal ini dapat terjadi karena hubungan antara tegangan dan regangan adalah berbanding lurus. Lokasi titik koordinat dapat dilihat pada tabel 5.2 di bawah ini.

Tabel 5.2 Titik Koordinat Regangan Maksimum dan Minimum Poros Engkol

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot1	ESTRN : Equivalent strain	1.30632e-007 Element: 4553	(1837.33 mm, 2076.9 mm, 167.397 mm)	0.00237434 Element: 7397	(1819.36 mm, 2084.67 mm, -66.2323 mm)

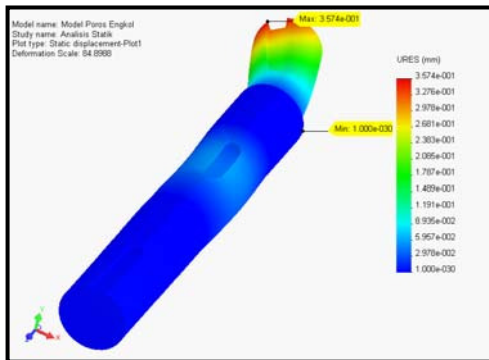
- Perpindahan (*displacement*)

Perpindahan atau defleksi maksimum yang terjadi sebesar 0,357407 mm terdapat pada nodal 137, yaitu pada alur pasak roda gigi kerucut, karena pada bagian tersebut menerima pembebanan/gaya paling besar dari roda gigi kerucut, faktor penyebabnya adalah gaya paling besar terjadi dari roda gigi kerucut dan dimensi poros bertingkat sehingga terjadi penampang diameter poros engkol yang kecil. Perpindahan minimum terjadi pada dudukan bantalan sebelah kanan (*bearing 2*), yaitu pada nodal 1 sebesar 0 mm, karena defleksi yang terjadi pada tumpuan sangat kecil. Lokasi titik koordinat dapat dilihat pada tabel 5.3.

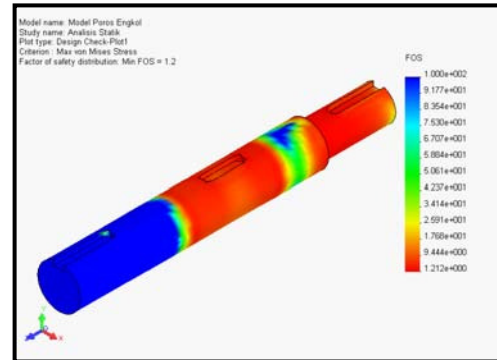
Tabel 5.3 Titik Koordinat Perpindahan Maksimum dan Minimum Poros Engkol

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Plot1	URES: Resultant displacement	0 mm Node: 58	(-17.5 mm, 0 mm, 910 mm)	0.176953 mm Node: 13295	(6.64865 mm, 19.3919 mm, 589.167 mm)

- Faktor Keamanan (*Safety of Factor*)



Gambar 5.3 Perpindahan yang Terjadi pada Poros Engkol



Gambar 5.4 Faktor Keamanan pada Poros Engkol

Faktor keamanan maksimum yang terjadi sebesar 100 terdapat pada bagian yang berwarna biru. Sedangkan faktor keamanan minimum terdapat pada bagian yang berwarna merah sebesar 1,2. Hal ini terjadi karena pada daerah yang berwarna merah terdapat tegangan yang terjadi paling besar sehingga faktor keamanannya kecil, sedangkan pada bagian yang berwarna biru tegangan yang terjadi kecil sehingga memiliki faktor keamanan yang besar. Faktor keamanan disini berdasarkan kriteria tegangan Von-Mises Maksimum, yaitu :

$$\frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{vonmises}} = SF \quad ; \quad (SF > 1)$$

$$\frac{8294,82 \text{ kgf/cm}^2}{6845,46 \text{ kgf/cm}^2} = 1,2$$

Dimana :

$$\sigma_{yield} = 8294,82 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{vonmises} = 6845,46 \text{ kgf/cm}^2$$

Setelah melakukan analisis statik terhadap beberapa komponen utama mesin pemadat log jamur tiram, maka diperoleh harga-harga dari hasil analisis tersebut seperti ditunjukkan pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Analisis Statik Komponen Utama

No	Komponen	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )		Regangan		Perpindahan (mm)		Safety Factor	
		Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min
1	Poros Engkol	6845,46	0,241	2,374 .10 <sup>-3</sup>	1,306.10 <sup>-7</sup>	0,357407	0	100	1,2
2	Roda Gigi Kerucut	7594,89	0,148	2,373.10 <sup>-5</sup>	9,614.10 <sup>-8</sup>	0,0496	0	100	1,1
3	Poros Geneva Penggerak	9170,52	0,214.10 <sup>-3</sup>	2,986.10 <sup>-5</sup>	1,388.10 <sup>-10</sup>	0,29342	0	100	0,9
4	Geneva Penggerak	720,85	3,372.10 <sup>-2</sup>	2,481.10 <sup>-6</sup>	1,688.10 <sup>-7</sup>	0,0445	0	100	4,5
5	Geneva yang Digerakkan	13686,3	7,864.10 <sup>-6</sup>	1,364.10 <sup>-3</sup>	2,611.10 <sup>-12</sup>	0,380553	0	100	0,61
6	Poros Output	8985,76	0,182.10 <sup>-2</sup>	2,354.10 <sup>-5</sup>	8,755.10 <sup>-6</sup>	0,065357	0	100	0,92

## 6. KESIMPULAN

Setelah melakukan pemodelan dan analisis statik terhadap mesin pemadat log jamur tiram, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Hasil dari analisis statik struktur meliputi tegangan (*stress*), regangan (*strain*), perpindahan (*displacement*) dan faktor keamanan (*safety of factor*).
2. Tegangan terbesar dialami oleh komponen geneva yang digerakkan sebesar 13686,3 kgf/cm<sup>2</sup>, dan tegangan terkecil dialami oleh komponen geneva penggerak sebesar 720,85 kgf/cm<sup>2</sup>.
3. Regangan terbesar dialami oleh komponen poros engkol sebesar 2,374.10<sup>-3</sup>, dan yang terkecil dialami oleh komponen geneva penggerak sebesar 2,481.10<sup>-6</sup>.
4. Perpindahan atau defleksi terbesar dialami oleh komponen geneva yang digerakkan sebesar 0,380553 mm, dan yang terkecil dialami oleh komponen geneva penggerak sebesar 0,0445 mm.
5. Faktor keamanan minimum terbesar dialami oleh komponen geneva penggerak sebesar 4,5 dan yang terkecil dialami oleh komponen geneva yang digerakkan sebesar 0,61.
6. Sebagian komponen mengalami tegangan Von-Mises dibawah tegangan *yield* dari material, sehingga memiliki nilai faktor keamanan > 1( aman ), kecuali komponen poros geneva penggerak, poros output dan geneva yang digerakkan memiliki nilai faktor keamanan < 1 ( tidak aman ).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Popov, E . P. 1978. *Mechanics of Material*. New Jersey : Prentice Hall.
- [2] Mitchell, Shigley. 1983. *Mechanical Engineering Design*. Michigan : McGraw-Hill.
- [3] Callister, William. D. 1997. *Materials Science and Engineering An Introduction*. New York : John Wiley & Sons.
- [4] Dieter, George. E. 1969. *Mchanical of Metalurgy*. New Jersey : Prentice Hall.
- [5] Cook, Robert D. 1990. *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Alih bahasa oleh Bambang Suryoatmono. Bandung : Eresco.
- [6] Krishnamoorthy, C. S. 2001. *Finite Element Analysis Theory and Programing Second Edition*. Madras : Indian Institute of Technology.
- [7] Wiratmaja IGN dan Djoeli Satrijo. 1998. *Metode Elemen Hingga*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- [8] CosmosWorks Software. *CosmosWorks Library*.