

Penerapan Metode Elemen Hingga Untuk Optimasi Berat Poros Transmisi *Bamboo Rattern Machine Whole Plan LW-002*

Stenly Tangkuman

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi
Jl. Kampus Barat UNSRAT Manado, Telp. (0431) 827574
e-mail : stangkuman@yahoo.com

Abstrak

Tujuan penulisan ini adalah mendapatkan nilai diameter luar dan tebal poros yang akan memberikan berat poros minimum pada *Bamboo Rattern Machine Whole Plan LW-002*. Mesin tersebut adalah salah satu unit dari mesin produksi sumpit bambu yang terdapat pada di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin UNSRAT Manado. Sejauh ini telah dilakukan analisa dinamis mekanisme luncuran engkol tunggal dari mesin tersebut, sedangkan sistem transmisinya belum dilakukan analisa lebih lanjut. Sistem transmisi *Bamboo Rattern Machine Whole Plan LW-002* terdiri dari motor listrik, poros, dan dua sistem puli-sabuk. Optimisasi berat poros tersebut dilakukan dengan memanfaatkan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak ANSYS 9.0. Variabel kendala atau *state variable* adalah tegangan dan defleksi pada poros. Dari hasil simulasi numerik didapatkan bahwa diameter luar dan tebal poros optimum adalah 6,4951 cm dan 0.97898 cm, kedua parameter tersebut menghasilkan volume poros sebesar $0.99830 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Kata Kunci : Metode Elemen Hingga, Optimasi, Poros

I. Pendahuluan

Optimasi sebuah bagian / elemen mesin mengandung pengertian sebuah analisis untuk mendapatkan nilai minimum atau maksimum dari parameter-parameter yang berkaitan dengan bagian / elemen mesin tersebut. Optimisasi diperlukan ketika suatu desain awal dianalisis performansinya dan didapatkan bahwa desain tersebut masih dapat ditingkatkan.

Bamboo Rattern Machine Whole Plan LW-002 adalah salah satu unit mesin produksi sumpit bambu yang terdapat pada di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin UNSRAT Manado. Daya motor listrik penggerak mesin tersebut akan ditingkatkan, hal tersebut akan mempengaruhi desain awal dimensi elemen-elemen mesin tersebut. Sejauh ini telah dilakukan analisa dinamis mekanisme luncuran engkol tunggal dari mesin tersebut, sedangkan sistem transmisinya belum dilakukan analisa lebih lanjut.

Perhatian tertuju pada poros transmisi *Bamboo Rattern Machine Whole Plan LW-002*, jika daya motor ditingkatkan bagaimanakah dimensi poros yang optimum, dalam hal ini memberikan berat poros minimum. Optimisasi berat poros tersebut dilakukan dengan memanfaatkan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak ANSYS 9.0.

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan nilai diameter luar dan tebal poros yang akan memberikan berat poros minimum, dengan variabel kendala tegangan dan defleksi pada poros.

II. Tinjauan Pustaka

Perumusan umum persoalan optimasi adalah sebagai berikut :

Meminimumkan / Memaksimumkan :

$F(\mathbf{X})$: Fungsi objektif
dimana X_1, X_2, \dots, X_n adalah variabel desain (*design variable*)

dengan kendala :

$g_j(\mathbf{X}) \leq 0$, $j = 1 \dots m$: kendala ketidaksamaan
 $h_k(\mathbf{X}) = 0$, $k = 1 \dots l$: kendala kesamaan
 $X_i^L \leq X_i \leq X_i^U$, $i = 1 \dots n$: *side constraints*

dimana :

$$\mathbf{X} = \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \end{Bmatrix} \quad : \text{vektor variabel desain}$$

Fungsi objektif dan fungsi kendala dapat berupa :

- Fungsi linier atau tak linier dari variabel desain $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$.
- Fungsi implisit atau eksplisit dalam \mathbf{X}
- Dapat dihitung secara analitis atau numerik
- Kecuali untuk kasus-kasus khusus, adalah penting untuk mempunyai fungsi-fungsi tersebut yang bersifat kontinyu dan mempunyai turunan pertama terhadap \mathbf{X}

Ada 2 metode penyelesaian yang dapat digunakan dalam masalah optimasi yaitu metode analitik dan metode numerik. Penyelesaian masalah dengan metode analitik merupakan penyelesaian yang paling baik, tapi seringkali metode tersebut tidak praktis digunakan jika menyangkut model geometri yang kompleks dan kondisi batas pembebanan yang rumit dan menyangkut sifat-sifat material yang bervariasi. Untuk menjawab permasalahan di atas, digunakanlah metode numerik sebagai pendekatannya dan yang paling populer adalah metode elemen hingga (*finite element method*).

Prinsip dari metode elemen hingga ini adalah mengubah suatu masalah yang mempunyai derajat kebebasan tidak berhingga menjadi suatu masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tertentu, sehingga proses pemecahan masalahnya menjadi lebih sederhana. Untuk menerapkan metode elemen hingga, sudah banyak terdapat perangkat-perangkat lunak yang mendukung, dan pada penelitian ini perangkat lunak yang digunakan adalah perangkat lunak ANSYS 9.0. Langkah-langkah yang umum dilakukan dalam penyelesaian numerik dengan metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak ANSYS adalah sebagai berikut :

- a. Penentuan Tipe Elemen Hingga
- b. Tahap pemodelan
- c. Penentuan sifat-sifat material
- d. Penerapan metode elemen hingga (*meshing*)
- e. Pemberian kondisi batas dan pembebanan
- f. Penentuan kontrol solusi (*solution control*)
- g. Analisis

III. Optimisasi

Perhatikan gambar 1 dibawah ini. Permasalahan dapat dimodelkan dengan fungsi objektif sebagai berikut :

$$\text{Meminimalkan : } W = \rho g \pi D t L$$

Dengan menganggap bahwa massa jenis material adalah konstan, maka fungsi objektif menjadi lebih sederhana yaitu :

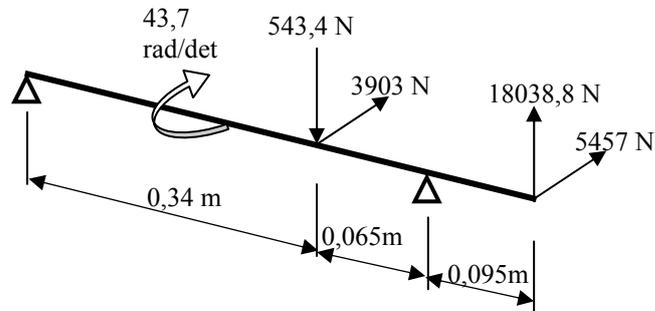
$$\text{Meminimalkan : } V = \pi D t L$$

dimana :

- V = volume poros
- D = diameter luar poros
- t = tebal poros
- L = panjang poros

Kendala untuk optimasi ini adalah :

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &\leq 89,5 \text{ Mpa} \quad (\text{jenis material ASM Grade 1144, dengan faktor keamanan 4}) \\ \delta_{\max} &\leq 0,2 \text{ cm} \\ t &> 0 \end{aligned}$$



Gambar 1. Poros yang hendak dioptimasi

Tahap-tahap analisis pada perangkat lunak Ansys 9.0 adalah sebagai berikut :

1. Definisikan parameter-parameter variabel desain (*design variable*)
2. Definisikan tipe elemen, parameter terkait seperti luas dan momen inersia
3. Nyatakan konstanta riil dan nilai properti material
4. Buat geometri objek yang akan dioptimisasi
5. Terapkan kondisi batas dan pembebanan
6. Terapkan konstrain-konstrain pada permasalahan optimisasi
7. Lakukan optimisasi

Hasil simulasi numerik dengan ANSYS 9.0 adalah sebagai berikut :

SOLUTION OPTIONS

```

PROBLEM DIMENSIONALITY.....3-D
DEGREES OF FREEDOM..... UX  UY  UZ  ROTX ROTY ROTZ
ANALYSIS TYPE.....STATIC (STEADY-STATE)
GLOBALLY ASSEMBLED MATRIX......SYMMETRIC
    
```

LOAD STEP OPTIONS

```

LOAD STEP NUMBER..... 1
TIME AT END OF THE LOAD STEP..... 1.0000
NUMBER OF SUBSTEPS..... 1
STEP CHANGE BOUNDARY CONDITIONS..... NO
INERTIA LOADS          X      Y      Z
  CGOMGA..... 43.700   0.0000  0.0000
PRINT OUTPUT CONTROLS......NO PRINTOUT
DATABASE OUTPUT CONTROLS......ALL DATA WRITTEN
FOR THE LAST SUBSTEP
    
```

FOR OPTIMIZATION LOOPING

RUN OPTIMIZATION (SUBPROBLEM APPROXIMATION) WITH A MAXIMUM OF 100 ITERATIONS AND 7 ALLOWED SEQUENTIAL INFEASIBLE SOLUTIONS.

OD	DELTAMAX	SMAX	T	VOLUME
0.300000E-01	0.155485E-02	0.148410E+10	0.200000E-02	0.942000E-04
0.300000E-01	0.687663E-03	0.656347E+09	0.978983E-02	0.461101E-03
0.475000E-01	0.122441E-03	0.185037E+09	0.978983E-02	0.730077E-03
0.571595E-01	0.609111E-04	0.110770E+09	0.106239E-01	0.953395E-03
0.577605E-01	0.577532E-04	0.106131E+09	0.110243E-01	0.999723E-03
0.648141E-01	0.404884E-04	0.834909E+08	0.992119E-02	0.100956E-02
0.649513E-01	0.404811E-04	0.836526E+08	0.978983E-02	0.998303E-03
0.649513E-01	0.262270E-03	0.541993E+09	0.100000E-02	0.101973E-03
0.649513E-01	0.689419E-04	0.142469E+09	0.447500E-02	0.456331E-03
0.649513E-01	0.457104E-04	0.944596E+08	0.795000E-02	0.810689E-03
0.649513E-01	0.374539E-04	0.773963E+08	0.114250E-01	0.116505E-02
0.649513E-01	0.337360E-04	0.697124E+08	0.149000E-01	0.151940E-02
0.650000E-01	0.403762E-04	0.834983E+08	0.978983E-02	0.999052E-03
0.676292E-01	0.356242E-04	0.766512E+08	0.958910E-02	0.101815E-02
0.825000E-01	0.179077E-04	0.470040E+08	0.978983E-02	0.126803E-02
0.893022E-01	0.168166E-04	0.477801E+08	0.735488E-02	0.103119E-02
0.100000	0.943574E-05	0.300207E+08	0.978983E-02	0.153700E-02

BEST VARIABLES ARE :

SET 7
(FEASIBLE)
DELTAMAX(SV) 0.40481E-04
SMAX (SV) 0.83653E+08
OD (DV) 0.64951E-01
T (DV) 0.97898E-02
VOLUME (OBJ) 0.99830E-03

IV. Kesimpulan

Dengan demikian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Persoalan optimasi ini merupakan persoalan tiga dimensi, karena memperhatikan kondisi pembebanan pada poros.
2. Diameter luar dan tebal poros optimum adalah 6,4951 cm dan 0.97898 cm, kedua parameter tersebut menghasilkan volume poros sebesar $0.99830 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Daftar Pustaka

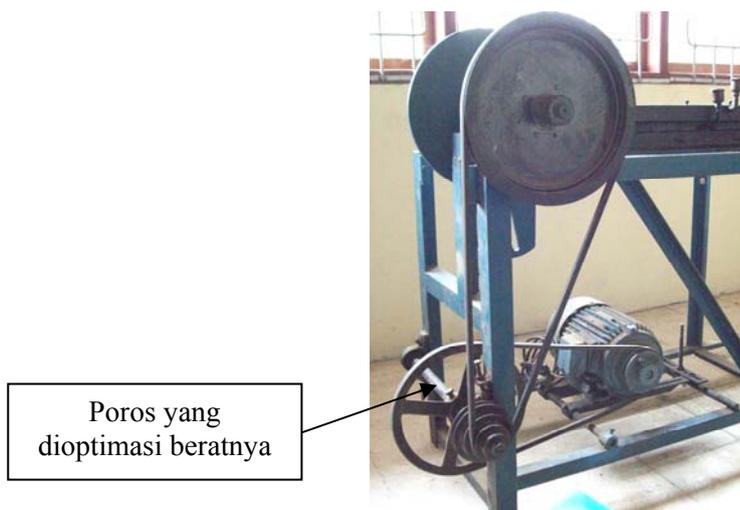
ANSYS Release 9.0 Documentation, 2005, *ANSYS Tutorial and Theory*

Moaveni Saeed, 1999, *Finite Element Analysis, Theory and Application with ANSYS*, Prentice Hall, New Jersey.

Pepper, Darrell, J. C. Heinrich 1992, *The Finite Element Method : Basic Concept and Applications*, Hemisphere Publishing Corporation, Washington

Vanderplaats Garret, *Numerical Optimization Techniques for Engineering Design : with Applications*, McGraw-Hill Book Company, New York.

LAMPIRAN



Gambar 2. Bamboo Rattern Machine Whole Plan LW-002