

## ANALISA KEGAGALAN PRODUK *CUTTING DISC* MESIN PEMOTONG KRUPUK SINGKONG DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Santoso Mulyadi<sup>1</sup>, Yuni Hermawan<sup>2</sup>

### ABSTRAK

Dalam setiap desain dilakukan harus mempertimbangkan kekuatan bahan. Kekuatan yang harus diperhatikan mengenai dimensi, bahan, dan struktur benda kerja. Pada penelitian ini akan dibahas tentang analisa kegagalan *cutting disc* mesin pemotong krupuk singkong dengan metode elemen hingga. Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk memecahkan masalah teknis dan gejala fisis matematis yang termasuk stres, ketegangan, kekuatan, dan analisis getaran. Metode elemen hingga ini untuk membandingkan antara perhitungan menggunakan software CATIA dan menggunakan perhitungan manual. Dalam hal ini metode elemen yang terbatas akan digunakan adalah metode 2D elemen hingga (lapangan) adalah elemen segitiga dengan 3 node. Dari penelitian ini didapatkan bahwa: stres terbesar pada elemen 5 dengan tegangan besar  $\sigma_x = 2,505 \times 10^4$ , dan strain terbesar pada elemen 3 dengan strain besar  $\epsilon_x = 0,272$ . Dari kegagalan teori MNST: Maksimum Normal-Stres Teori dinyatakan aman, karena masih dalam batas aman. Tampak bahwa stres terbesar terjadi masih di bawah tekanan dari bahan itu sendiri memungkinkan. Tegangan maksimum terjadi pada *cutting disc* dekat poros penggerak sebesar  $8.3 \times 10^9$  sedangkan tegangan minimum sebesar  $4.9 \times 10^7$  yang terletak tepi *cutting disc*.

*Kata kunci: kegagalan, tegangan, cutting disc dan elemen hingga*

### PENDAHULUAN

Mesin pemotong krupuk singkong sangat membantu dalam proses pembuatan krupuk dari bahan baku adonan krupuk, ubi jalar, talas, kentang dan sejenisnya. Proses pemotongan bahan baku menggunakan mesin pemotong sangat menguntungkan dari sisi penghematan waktu dan dari sisi mutu hasil rajangan. Mesin perajang adonan krupuk dapat merajang bahan baku dalam jumlah banyak dengan waktu yang cepat serta bisa memberikan hasil rajangan yang seragam secara terus menerus. Mesin perajang adonan krupuk terdiri dari beberapa komponen sederhana, sehingga mudah digunakan dan mudah dirawat. Mesin perajang dengan menggunakan jenis material bermutu bagus yang disesuaikan dengan fungsi mesin, sehingga mesin tersebut dapat bekerja dengan baik dan tahan lama. Mesin yang bermutu tinggi dan tahan lama akan meningkatkan efisiensi serta member nilai tambah yang tinggi bagi pengguna. Dalam perancangan yang dilakukan pun harus memperhatikan kekuatan dari piringan potong (*cutting disc*) dari mesin tersebut. Kekuatan yang harus diperhatikan menyangkut dimensi, material, dan struktur dari piringan. Dalam perancangan produk *cutting disc* krupuk singkong sebelumnya, didapati analisa struktur yang dilakukan hanya dengan menggunakan bantuan software, sehingga kekuatan struktur dari produk *cutting disc* krupuk singkong tersebut belum sepenuhnya menjadi prioritas utama.

Hal ini dikarenakan pada data sebelumnya didapati bahwa beban maksimal yang dapat diterima oleh *cutting disc* krupuk singkong ini adalah momen 10.000 N.m. Terlihat bahwa tegangan terbesar yang terjadi masih berada di bawah tegangan ijin dari bahan itu sendiri. Tegangan yang terjadi pada piringan sebesar  $8.3 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> terletak pada bagian dekat poros penggerak sedangkan tegangan minimum yang bekerja pada piringan yaitu  $4.9 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup> terletak pada bagian tepi piringan.

<sup>1</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

<sup>2</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Kekuatan (strength) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengalami patahan. Kekuatan ini ada beberapa macam, tergantung pada jenis beban yang bekerja, yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung. Kekuatan pada produk *cutting disc* krupuk singkong sangat berguna untuk menopang tubuh dari pengguna. Apabila menjadi patahan pada produk *cutting disc* krupuk singkong maka kekuatan yang diharapkan dianggap gagal, sehingga perlu analisa tentang kekuatan dari produk *cutting disc* krupuk singkong tersebut.

Metode elemen hingga adalah metode numeric yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan matematis dari suatu gejala phisis yang diantaranya adalah tegangan, regangan, kekuatan, dan analisa getaran. Metode elemen hingga inilah yang dapat membandingkan antara perhitungan dengan menggunakan software catia dan dengan menggunakan perhitungan secara manual. Dalam hal ini metode elemen hingga yang akan dipergunakan adalah metode elemen hingga 2D (bidang) yaitu elemen segitiga dengan 3 node. Metode elemen hingga 2D dalam hal ini elemen bidang segitiga dengan 3 node didasarkan untuk keperluan analisa suatu continuum yang berupa luasan. Permasalahan yang dapat dipecahkan oleh elemen bidang segitiga ini menyangkut matrik kekakuan elemen, plain strain dan plain stress serta vector- vector gaya yang bekerja pada elemen dari produk *cutting disc* krupuk singkong tersebut. Secara terperinci hal-hal yang disebut akan ditinjau dalam system koordinat local dan system koordinat global.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Elemen Hingga**

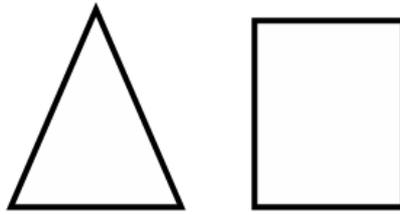
Perkembangan dunia komputer telah begitu cepatnya mempengaruhi bidang-bidang penelitian dan industri, sehingga impian para ahli dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan industri telah menjadi kenyataan. Pada trend sekarang ini, metoda dan analisa desain telah banyak menggunakan perhitungan matematis yang rumit dalam penggunaan sehari-hari.

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk mengatasi masalah nilai batas yang dikarakteristikan dengan persamaan diferensial parsial dan kondisi batas. Domain geometrik dari masalah nilai batas didiskritisasi menggunakan elemen subdomain, yang disebut sebagai elemen hingga, dan persamaan diferensial tersebut diterapkan terhadap elemen tunggal setelah diubah ke dalam bentuk integral-diferensial. Satu set bentuk fungsi digunakan untuk mewakili variabel utama yang tidak diketahui dalam domain elemen. Satu set persamaan linier diperoleh untuk setiap elemen dalam domain diskrit. Sebuah sistem matriks global dibentuk setelah menyusun seluruh elemen. Ada beberapa permasalahan yang dapat diselesaikan oleh metode elemen hingga diantaranya adalah permasalahan phisis. Berikut merupakan type-type permasalahan phisis yang dapat dipecahkan oleh metode elemen hingga diantaranya pemecahan masalah tegangan (stress), buckling (tekukan) dan analisis getaran.

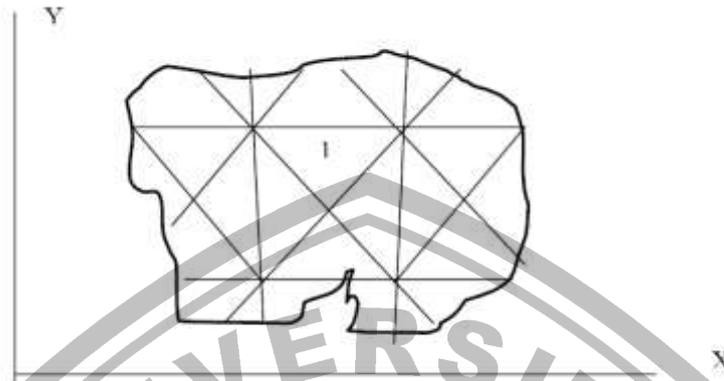
Metode elemen hingga (finite element method) banyak memberikan andil dalam melahirkan penemuan-penemuan bidang riset dan industri, Hal ini dikarenakan dapat berperan sebagai research tool pada eksperimen numerik. Aplikasi banyak dilakukan pada problem kompleks diselesaikan dengan metode elemen hingga seperti rekayasa struktur, steady state dan time dependent heat transfer, fluid flow, dan electrical potential problem, aplikasi bidang medikal.

### **Elemen Dua Dimensi**

Bentuk yang sering dipergunakan : elemen segitiga dan elemen segiempat. Linier elemen mempunyai sisi yang lurus. Elemen dengan order lebih tinggi (quadratic, cubic) dapat sisi lurus atau lengkung. Modeling untuk domain dengan batas sisi lengkung dimungkinkan dengan penambahan node tengah (midside node). Ketebalan elemen bisa sama (konstan) atau bisa sebagai fungsi dari koordinat.



Gambar 1. Type dua dimensi



Gambar 2. Luasan elemen segitiga

Kita dapat mengasumsikan persamaan fungsi linier pada sumbu y dan x dengan fungsi yang sederhana.

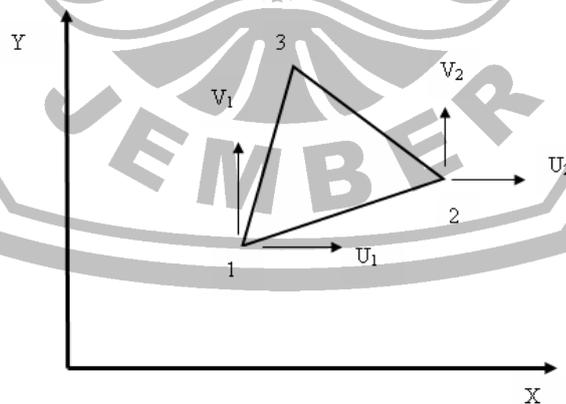
$$u ( X, Y ) = \alpha_1 + \alpha_2 X + \alpha_3 Y$$

$$v ( X, Y ) = \beta_1 + \beta_2 X + \beta_3 Y$$

Kita dapat mengasumsikan persamaan fungsi linier pada sumbu y dan x dengan fungsi yang sederhana.

$$u ( X, Y ) = \alpha_1 + \alpha_2 X + \alpha_3 Y$$

$$v ( X, Y ) = \beta_1 + \beta_2 X + \beta_3 Y$$



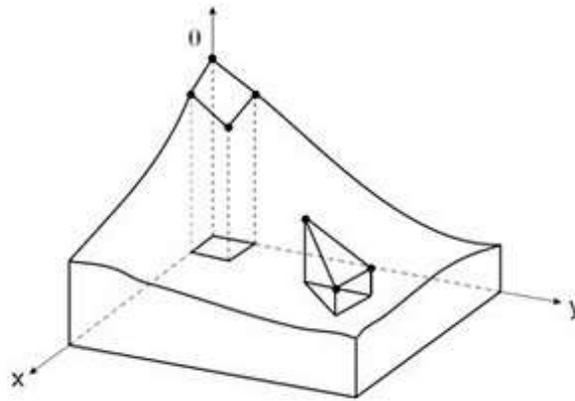
Gambar 3. Elemen segitiga dengan 3 node

Dari data diatas dapat disimpulkan konstanta dari  $\alpha$  dan  $\beta$  ( sebelum dimasukan kedalam koordinat ), dapat dimasukan kepersamaan X. Sehingga menjadi persamaan:

$$U_1 = \alpha_1 + \alpha_2 X_1 + \alpha_3 Y_1$$

$$U_2 = \alpha_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 Y_2$$

$$U_3 = \alpha_1 + \alpha_2 X_3 + \alpha_3 Y_3$$



Gambar 4 Elemen triangular dan quadrilateral

Sehingga bila dimasukkan kedalam matrix.

$$\begin{Bmatrix} u \\ u \\ u \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{Bmatrix}$$

Atau

$$\{q_1\} = [A_1]\{\alpha\}$$

Atau sama dengan persamaan untuk titik V, sehingga memiliki persamaan:

$$\begin{Bmatrix} v \\ v \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \end{Bmatrix}$$

Atau

$$\{q_2\} = [A_1]\{\beta\}$$

Sehingga koordinat untuk  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah turunan persamaan keduanya sehingga invers koordinat matriks kedua persamaan adalah.

$$\begin{aligned} [A_1]^{-1} &= \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix}^{-1} = \frac{\text{titik dari } [A_1]}{\text{determinan } [A_1]} \\ &= \frac{1}{\det \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}} \end{aligned}$$

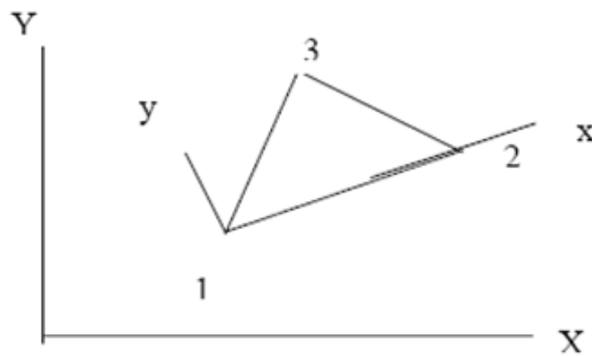
Dimana :

$$a_1 = X_2Y_3 - X_3Y_2$$

$$a_2 = X_3Y_1 - X_1Y_3$$

$$a_3 = X_1Y_2 - X_2Y_1$$

$$\det = X_2Y_3 - X_3Y_2 + X_1(Y_2 - Y_3) + Y_1(X_3 - X_2) = 2(\text{area segitiga elemen})$$



Gambar 5. Koordinat elemen segitiga

Sehingga penyederhanaan dari persamaan adalah :

$$\{\beta\} = [A_1]^{-1}\{q_1\}$$

$$\{\alpha\} = [A_1]^{-1}\{q_2\}$$

Disubstitusikan dengan persamaan

$$\begin{aligned} u &= [1 \quad X \quad Y]\{\alpha\} \\ &= [1 \quad X \quad Y][A_1]^{-1}\{q_1\} \\ v &= [1 \quad X \quad Y][A_1]^{-1}\{q_2\} \end{aligned}$$

Sehingga persamaannya menjadi :

$$\begin{aligned} \{q_1\} &= \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \\ \{q_2\} &= \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{Bmatrix} \end{aligned}$$

Adapun langkah- langkah dalam memakai finite elemen method untuk analisa gerakan pada continous system.

1. Discretization daripada domain.
  - 1- D contoh pada sumbu X saja, atau mungkin juga pada sumbu X dan Y saja.
  - 2- D contoh pada sumbu X dan Y; atau biasa dikenal dengan r dan  $\theta$
  - 3- D contoh pada sumbu X, Y dan Z; atau biasa dikenal dengan r,  $\theta$  dan z.
2. Pilih polynomial function di dalam mencari shape function.
3. Jabarkan elemen equation.

Dua kategori model matematik :

- lumped-parameter models (“discrete-system”)
- continuum-mechanics-based models (“continuous-system”).

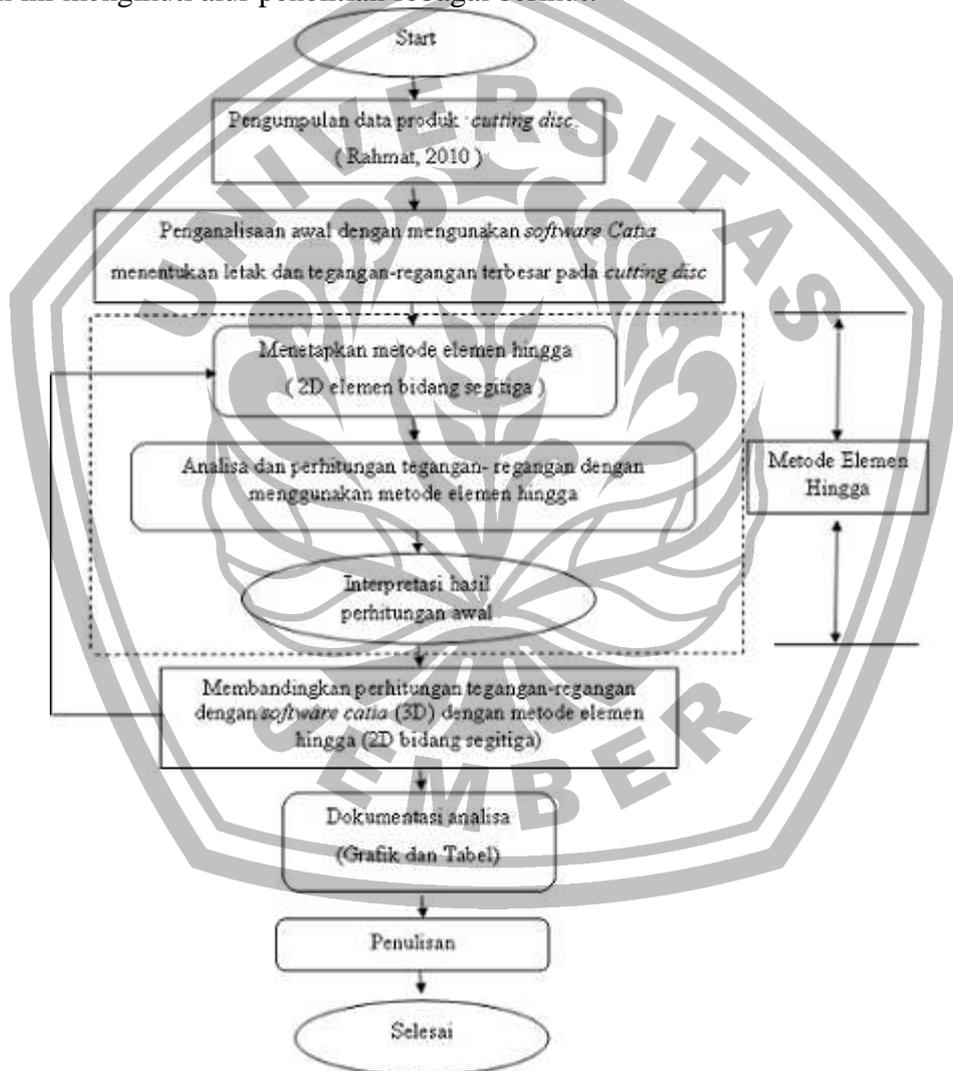
## METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar tahapan penelitian yang ditujukan untuk menyelesaikan penganalisaan kekuatan *cutting disc* krupuk singkong adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data sebelumnya.  
Pada tahap ini, mengumpulkan data- data *cutting disc* krupuk singkong (Rahmat, 2010). Sehingga data yang diambil benar-benar akurat dengan data sebelumnya.
2. Analisa awal data sebelumnya  
Pada tahap ini, melakukan analisa awal dari produk *cutting disc* krupuk singkong (Rahmat, 2010).
3. Melakukan penggambaran teknik  
Pada tahapan ini, perancangan tongkat di visualisasikan dalam bentuk gambar 2D dan 3D beserta dimensi dari konsep terpilih dengan menggunakan *software CATIA*.

4. Analisa kekuatan material  
Menentukan posisi tegangan terbesar dimana pada posisi ini akan terjadi awal kerusakan/kegagalan. Melakukan uji struktur piringan *cutting disc* krupuk singkong dengan bantuan *software CATIA*. Uji struktur hanya pada pembebanan pengguna dan piringan *cutting disc* krupuk singkong secara statis.
5. Analisa kekuatan dari tongkat dengan metode Element Hingga  
Menganalisa kekuatan dari produk *cutting disc* krupuk singkong dimana pada tahap ini produk *cutting disc* krupuk singkong akan dilakukan perhitungan tegangan dengan menggunakan metode Elemen hingga.
6. Membandingkan antara perhitungan dengan metode Elemen Hingga dan dengan menggunakan *software CATIA*.  
Setelah didapat data yang akurat kita akan membandingkan antara kedua pengujian yang telah dilakukan, sehingga hasil yang didapat sesuai dengan data yang ingin diperoleh.

Penelitian ini mengikuti alur penelitian sebagai berikut:



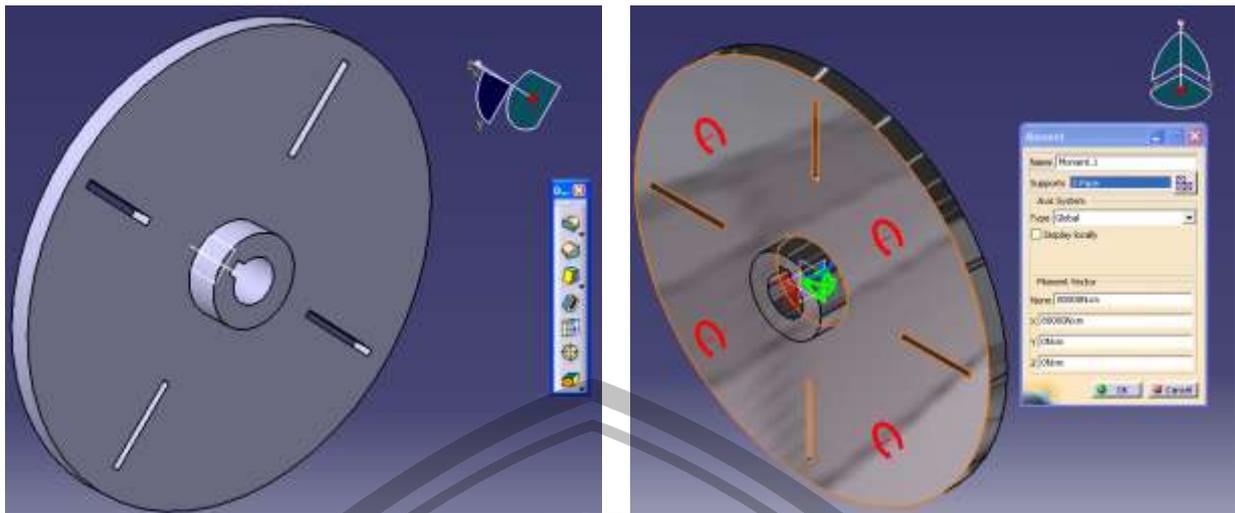
Gambar 6. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Membangun Model Analisa Struktur

Untuk membuat model analisa struktur menggunakan aplikasi *generative structural analysis*. *Generative structural analysis* merupakan suatu aplikasi yang dapat menganalisa tegangan yang terjadi pada model secara presisi dengan berbagai macam keadaan pembebanan.

Aplikasi *generative structural analysis* dapat diakses dari *start menu* pada aplikasi *analysis and simulation* dari CATIA V5R14, seperti gambar 7 di bawah ini.

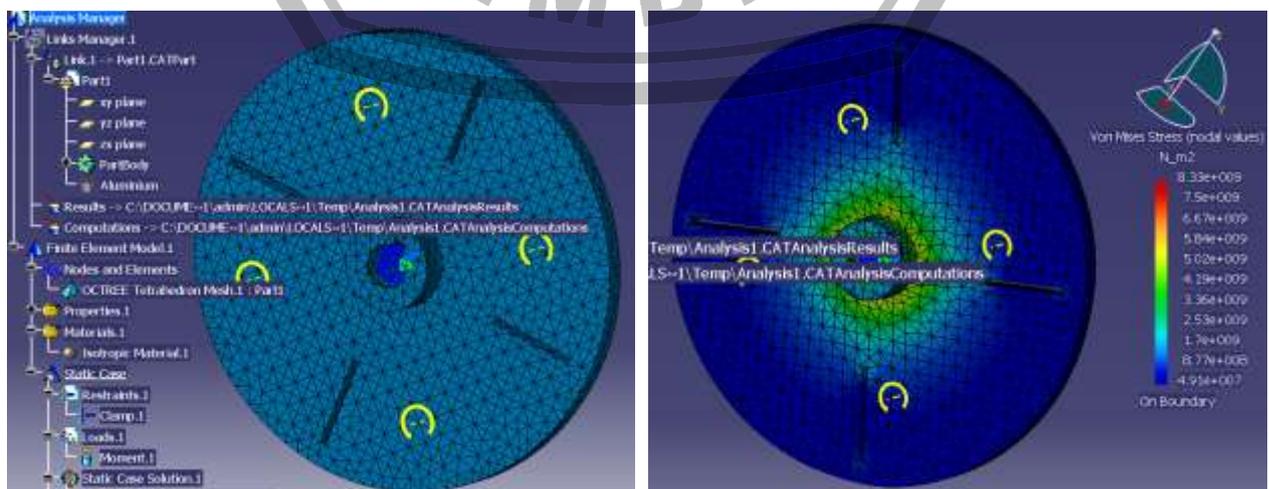


Gambar 7 Tampilan desain dan generative structural analysis

### Analisa Tegangan Struktur *Cutting Disc* Pemotong Krupuk Singkong

Langkah selanjutnya adalah memberi perintah kepada CATIA V5R14 untuk mulai proses perhitungan mencari solusi atas tahapan yang telah diberikan pada *preprocessor* dengan menggunakan metode elemen hingga. Untuk dapat memulai proses perhitungan dengan memberi perintah *compute*. Waktu yang dibutuhkan CATIA V5R14 untuk mendapatkan hasil perhitungan tergantung pada *performance* dari komputer (*memory*, kapasitas *hardisk*, *processor*, *motherboard*) dan kompleksitas dari permasalahan yang ada (model geometri, model pembebanan, ukuran *meshing*). Untuk perancangan ini menggunakan *automeshing*, hal ini dikarenakan kompleksitasnya permasalahan yang ada dan *performance* dari komputer yang standard untuk menganalisa struktur dengan menggunakan CATIA V5R14.

Pada *post processor* yang bertujuan untuk melihat hasil perhitungan yang telah dilakukan setelah pembuatan model baik model geometri maupun elemen hingga. Adapun beberapa hal dari tahap ini yang ditampilkan antara lain tegangan von mises, tegangan principal, defleksi. Dalam tugas akhir ini hasil *post processor* yang dibutuhkan hanya tegangan von mises pada struktur, yaitu berapa dan dimana tegangan maksimum dan minimum yang terjadi pada model. Dari hasil pemodelan analisa didapatkan hasil komputasi analisa tegangan yang terjadi pada piringan dengan bantuan *software* CATIA V5R14 adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Meshing dan tegangan yang terjadi pada piringan dengan pembebanan 10.000 N.m

Dari hasil perhitungan secara komputasi didapatkan tegangan maksimum yang bekerja pada piringan tersebut yaitu  $8.3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  terletak pada bagian dekat poros penggerak sedangkan tegangan minimum yang bekerja pada piringan yaitu  $4.9 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  terletak pada bagian tepi piringan.

### Tegangan Von misses Dengan Software CATIA

Setelah didapatkan besar tegangan von misses kritisnya, maka langkah selanjutnya adalah mengadakan evaluasi terhadap kegagalan material akibat pembebanan. Digunakan persamaan di bawah ini untuk mengevaluasi konsep desain yang telah dirancang.

$$\sigma_e \text{ maksimum} \leq \frac{S_y}{N}$$

Dimana tegangan luluh yang diijinkan ( $S_y$ ) adalah  $8.7 \times 10^{12}$  dan perhitungan analisa tegangan menggunakan angka keamanan 6 dikarenakan menggunakan material logam dan paduan, maka:

$$\sigma_e \text{ maksimum} \leq \frac{8.7 \times 10^{12} \text{ N/m}^2}{6}$$
$$\sigma_e \text{ maksimum} \leq 1.45 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

Agar material tidak terjadi kegagalan maka tegangan equivalent (tegangan Von-Mises) yang terjadi tidak boleh melebihi dari  $1.45 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ . Dari perhitungan tegangan maksimum dengan menggunakan software CATIA didapat tegangan maksimumnya adalah  $8.3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ . Ini dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan equivalent atau tegangan von mises masih dibawah tegangan yang diijinkan, dengan kata lain piringan aman untuk digunakan.

### KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Tegangan terbesar yang terjadi masih berada di bawah tegangan ijin dari bahan itu sendiri. Tegangan yang terjadi pada piringan sebesar  $8.3 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  terletak pada bagian dekat poros penggerak.
2. Metode elemen hingga yang dipergunakan adalah 2D dalam hal ini elemen bidang segitiga dengan 3 node didasarkan untuk keperluan analisa suatu continuum yang berupa luasan. Permasalahan yang dapat dipecahkan oleh elemen bidang segitiga ini menyangkut matrik kekakuan elemen, plain strain dan plain stress serta vector- vector gaya yang bekerja pada elemen dari produk *cutting disc* krupuk singkong tersebut. Secara terperinci hal-hal yang disebut akan ditinjau dalam system koordinat local dan system koordinat global.
3. Tegangan terbesar terdapat pada elemen 5 dengan besar tegangan sebesar  $\sigma_{x5} = 2,51 \times 10^4$ , dan Regangan terbesar terdapat pada elemen 3 dengan besar regangan  $\epsilon_{x3} = 0,27$ .

### Saran

1. Perlu dilakukan analisis dan pengembangan lebih lanjut, supaya dapat memberikan kenyamanan yang lebih terhadap pengguna mesin pemotong krupuk singkong.
2. Perlu dilakukan analisis dengan menggunakan metode elemen hingga 2D quathedral, dengan menggunakan elemen-elemen yang jauh lebih kecil dan banyak agar didapat hasil yang jauh lebih teliti lagi, dan dengan menggunakan metode elemen hingga 3D agar didapat hasil yang sangat akurat dan detail.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hidayatulloh, Rahmat. 2010. *Studi Ergonomi Perancangan dan Pengembangan Produk Cutting disc krupuk singkong dengan Metode Quality Function Deployment ( QFD )*. Jember.
- Grandin, Hartley, jr. 1986. *Fundamentals of the finite Element Method*. Macmillan publishing company. New York.
- Sutatio, Yerri. 2004. *Dasar-dasar Metode Elemen Hingga*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Robert D. Cook. 1990. *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. PT. EAEOCO. Bandung.
- Sonief, Ir. A. As'ad. MT. *Diktat Metode Elemen Hingga*. ITB
- Elfrida Saragi., Utaja. *Analisis Bimetal dengan menggunakan metode Elemen Hingga*. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. Batam
- Supriyono. *Aplikasi Metode Elemen Hingga untuk Perhitungan Perambatan Panas pada kondisi Tunak*. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. Batam
- Elfrida Saragi., Utaja. *Simulasi Metode Elemen hingga untuk menghitung Thermal stress pada bahan struktur yang mengalami korosi*. Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XVI. Batam
- Kendari Pos. 2005. "Tingkat Perbaiki Keseimbangan Tubuh". Edisi Sabtu, (November 2005).
- Wardani, Laksmi. K. 2003. *Evaluasi ergonomik dalam perancangan desain*, Jurusan Desain Interior, Fakultas Seni dan Desain, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Nugroho, Wiedhi. A. 2005. *Design of triecyle bike*, Final Project, Manufacture Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya.
- Nurmianto, Eko. 1999. *Ergonomi konsep dasar dan aplikasinya*, Edisi pertama, Penerbit Guna Widya.

