

ANALISA TEGANGAN-REGANGAN PRODUK TONGKAT LANSIA DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Santoso Mulyadi ¹

ABSTRACT

In any design done must consider the strength of the staff. The strength that must be considered regarding the dimensions, materials, and stick structure. In the previous elderly rod product design, structural analysis found that by just using the help of software, so that the power structure of the stick product has not yet been fully elderly a top priority. This is because the previous data was found that the maximum load that can be received by elderly stick it is 45 N. It appears that the greatest stress occurs is still under the stress of the material itself permits. The voltage that occurs on the order of $6.47e +006 \text{ N/m}^2$ located on the handle of the stick while the minimum stress acting on the order of $1.29e-008 \text{ N/m}^2$ pipe located at the upper stalk. So the calculation needs to be done manually to review the results of previous calculations, in order to improve and enhance the strength of the product stick elderly. Finite element method is a numerical method used to solve technical problems and a symptom phisis metematis of which include stress, strain, strength, and vibration analysis. This finite element method to compare between the calculations using CATIA software and using the calculations manually. In this case the finite element method to be used is a 2D finite element method (field) is a triangular element with 3 nodes. Using Finite Element Method, the biggest stress on the element 5 with a large voltage of $\sigma_x = 2.505 \times 10^4$, and the biggest strain on the element 3 with a large strain $\epsilon_x = 0.272$. And failure obtained Theory states: Maximum Normal-Stress Theory declared safe. Because it is still within safe limits. Maximum Shear-Stress Theory declared unsafe.

Keywords: stick, stress, strain and finite element

PENDAHULUAN

Kemunduran fungsi (*degradation of function*) merupakan masalah yang akan dialami oleh semua manusia yang telah berumur. Salah satunya, kemunduran daya keseimbangan tubuh. Tidak jarang di antara mereka yang sulit berjalan. Hal itu disebabkan menurunnya kekuatan otot pada anggota gerak. Misalnya, otot lengan, otot tangan, otot tungkai, dan otot kaki. Apalagi bila kondisi itu disertai penyakit degeneratif seperti osteoporosis, parkinson, pascastroke, nyeri lutut, dan patah tulang. Alat bantu jalan pun menjadi salah satu solusi tepat. Salah satunya adalah tongkat. Tongkat sering digunakan untuk membantu keseimbangan, memperlebar langkah dan menurunkan beban tubuh di kaki. Penggunaan yang aman sangat penting agar tongkat berfungsi sebagaimana mestinya dalam membantu fungsi jalan.

Panjang tongkat ideal adalah setinggi lipatan paha dan tangan sedikit ditekuk. Bila terlalu panjang atau pendek maka akan mengganggu penderita. Untuk itulah perlu adanya pengembang produk pada tongkat agar memberi nilai kenyamanan kepada para pengguna (Kendari pos. 2008). Dalam perancangan yang dilakukan pun harus memperhatikan kekuatan dari tongkat tersebut. Kekuatan yang harus diperhatikan menyangkut dimensi, material, dan struktur tongkat. Dalam perancangan produk tongkat lansia sebelumnya, didapati analisa struktur yang dilakukan hanya dengan menggunakan bantuan software, sehingga kekuatan struktur dari produk tongkat lansia tersebut belum sepenuhnya menjadi prioritas utama.

Hal ini dikarenakan pada data sebelumnya didapati bahwa beban maksimal yang dapat diterima oleh tongkat lansia ini adalah 45 N. Terlihat bahwa tegangan terbesar yang terjadi masih berada di bawah tegangan ijin dari bahan itu sendiri.

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Tegangan yang terjadi pada rangka sebesar 6.47×10^6 N/m² terletak pada bagian pegangan tongkat sedangkan tegangan minimum yang bekerja pada rangka yaitu 1.29×10^8 N/m² terletak pada bagian tangkai pipa atas. Sehingga perlu dilakukan perhitungan secara manual untuk meninjau ulang hasil perhitungan sebelumnya, agar dapat memperbaiki dan meningkatkan kekuatan produk tongkat lansia

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 tongkat lansia sangat berguna untuk menopang tubuh dari pengguna. Apabila menjadi patahan pada produk tongkat lansia maka kekuatan yang diharapkan dianggap gagal, sehingga perlu analisa tentang kekuatan dari produk tongkat lansia 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 tongkat lansia 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.

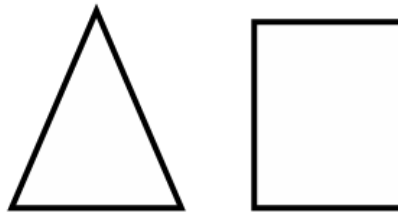
Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk mengatasi masalah nilai batas yang dikarakteristikan dengan persamaan diferensial parsial dan kondisi batas. Domain geometrik dari masalah nilai batas didiskritisasi menggunakan elemen subdomain, yang disebut sebagai elemen hingga, dan persamaan 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.

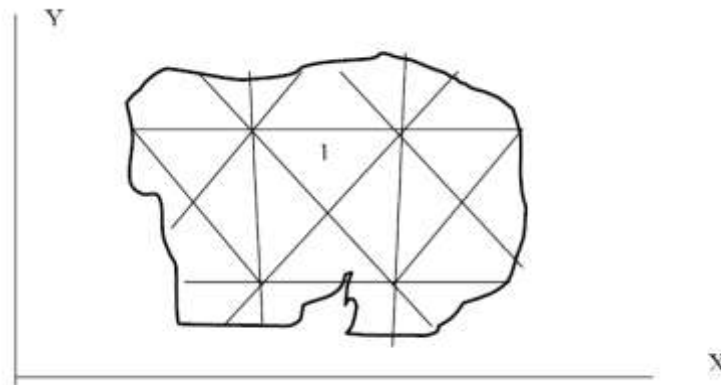
Elemen Dua Dimensi

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.

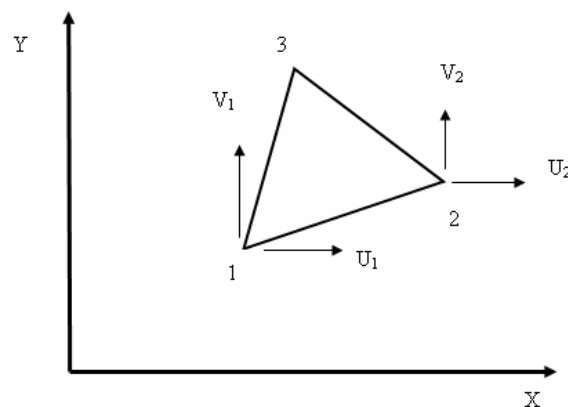
$$u (X, Y) = \alpha_1 + \alpha_2 X + \alpha_3 Y$$

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

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

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

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



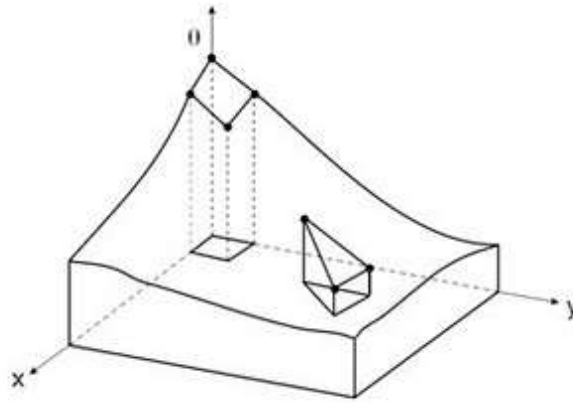
Gambar 3. Elemen segitiga dengan 3 node

Dari data diatas dapat disimpulkan konstanta dari α dan β (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 α dan β adalah turunan persamaan keduanya sehingga invers koordinat matriks kedua persamaan adalah.

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

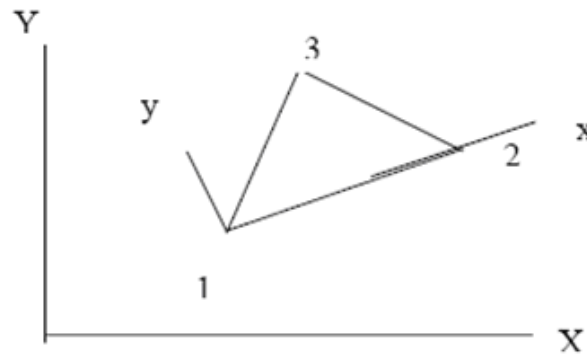
Dimana :

$$a_1 = X_2 Y_3 - X_3 Y_2$$

$$a_2 = X_3 Y_1 - X_1 Y_3$$

$$a_3 = X_1 Y_2 - X_2 Y_1$$

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



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 θ
 - 3- D contoh pada sumbu X, Y dan Z; atau biasa dikenal dengan r, θ 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

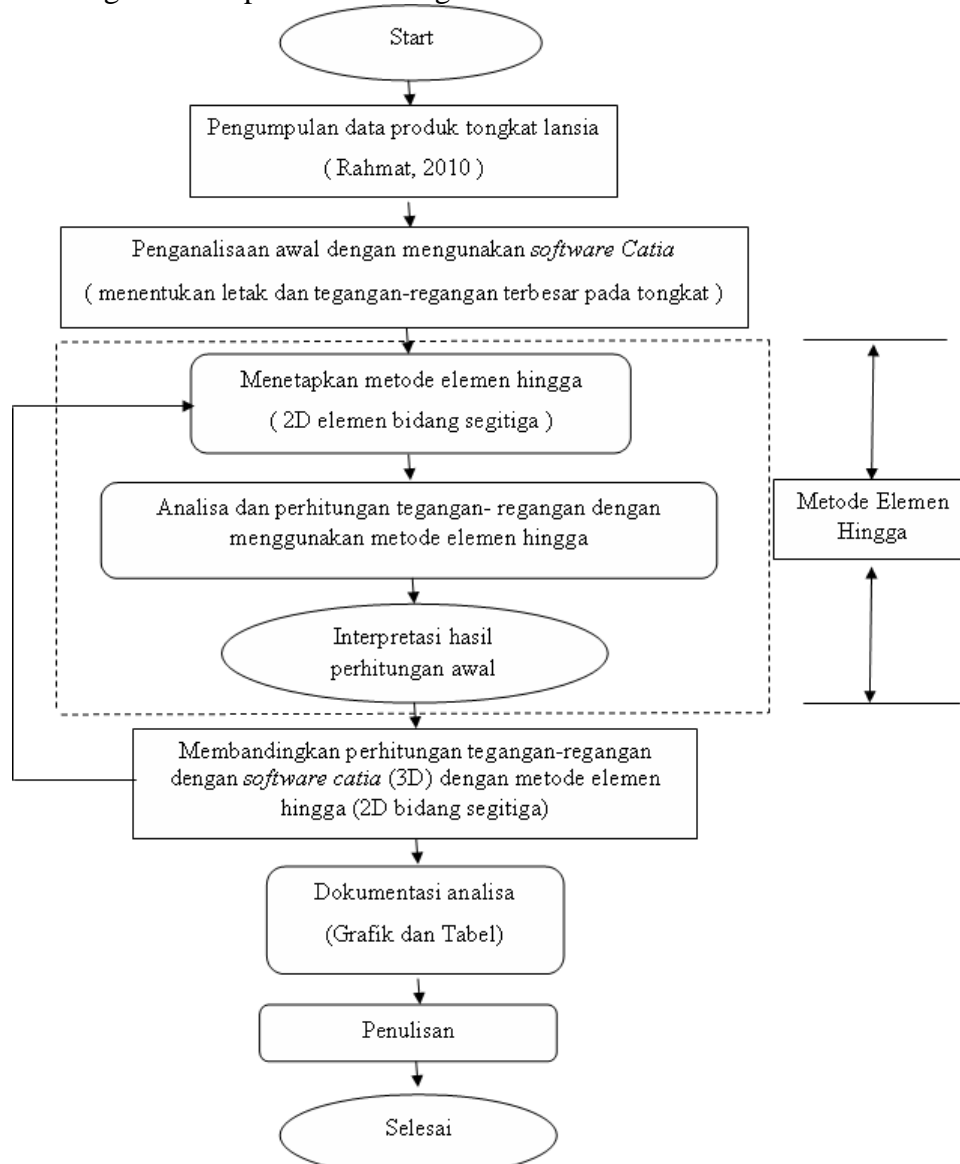
Secara garis besar tahapan penelitian yang ditujukan untuk menyelesaikan penganalisaan kekuatan tongkat lansia adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data sebelumnya.
Pada tahap ini, mengumpulkan data- data tongkat lansia (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 tongkat lansia (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 rangka tongkat lansia dengan bantuan *software CATIA*. Uji struktur hanya pada pembebanan pengguna dan rangka tongkat lansia secara statis.

5. Analisa kekuatan dari tongkat dengan metode Element Hingga
Menganalisa kekuatan dari produk tongkat lansia dimana pada tahap ini produk tongkat lansia 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.

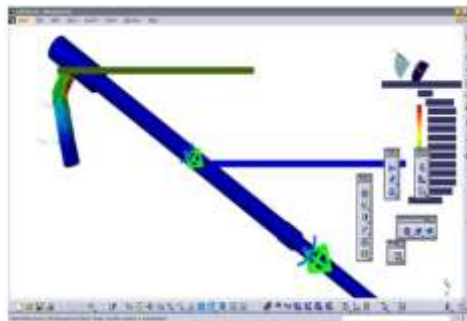


Gambar 7 Tampilan generative structural analysis

Analisa Tegangan Struktur Tongkat Lansia

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 rangka dengan bantuan *software CATIA V5R14* adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Tegangan yang terjadi pada rangka dengan pembebanan 4.5 kg

Dari hasil perhitungan secara komputasi didapatkan tegangan maksimum yang bekerja pada rangka tersebut yaitu $6.47 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ terletak pada bagian pegangan tongkat sedangkan tegangan minimum yang bekerja pada rangka yaitu $1.29 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ terletak pada bagian tangkai pipa atas.

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 4.8×10^7 dan perhitungan analisa tegangan menggunakan angka keamanan 6 dikarenakan menggunakan material lunak dan paduan, maka:

$$\sigma_e \text{ maksimum} \leq \frac{4.8 \times 10^7 \text{ N/m}^2}{6}$$

$$\sigma_e \text{ maksimum} \leq 8.0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Agar material tidak terjadi kegagalan maka tegangan equivalent (tegangan Von-Mises) yang terjadi tidak boleh melebihi dari $8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Dari perhitungan tegangan maksimum dengan menggunakan *software* Catia didapat tegangan maksimumnya adalah $6.47 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Ini dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan equivalent atau tegangan von mises masih dibawah tegangan yang diijinkan, dengan kata lain rangka 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 rangka sebesar $6.47 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ terletak pada bagian pegangan tongkat sehingga perhitungan dimulai dengan menyoroti objek berupa pegangan tongkat tersebut. Dengan berat yang diterima oleh tongkat adalah 45 N (10% dari berat tubuh lansia).
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 tongkat lansia 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 $\sigma_{x 5} = 2,51 \times 10^4$, dan Regangan terbesar terdapat pada elemen 3 dengan besar regangan $\epsilon_{x 3} = 0,27$.

Saran

1. Perlu dilakukan analisis dan pengembangan lebih lanjut, supaya dapat memberikan kenyamanan yang lebih terhadap pengguna produk tongkat lansia.
2. Perlu dilakukan analisis dengan menggunakan metode elemen hingga 2D quatrohedral, 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 Tongkat Lansia 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 Tu buh". Edisi Sabtu, (November 2005).
- Wardani, Laksmi. K. 2003. *Evaluasi ergonomic dalam perancangan desain* , Jurusan Desain Interior, Fakulas Seni dan Desain, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Nugroho, Wiedhi. A. 2005. *Design of tricycle bike*, Final Project, Manufacture Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Teknologi Surabaya.
- Nurmianto, Eko. 1999. *Ergonomi konsep dasar dan aplikasinya*, Edisi pertama, Penerbit Guna Widya.
- Sangaji, K. 2007. *Pemakaian tongkat yang benar* . Rehabilitasi Medik Jakarta.