

ANALISA TEGANGAN POROS RODA MOBIL LISTRIK DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Dwi Djumhariyanto¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

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 poros roda mobil listrik dari bahan baja ST 42 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 dengan tegangan $\sigma = 1,85 \times 10^8$. 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 tengah poros, sedangkan tegangan minimum sebesar $3,4 \times 10^6$ yang terletak tepi poros.

Kata kunci: kegagalan, tegangan, poros roda dan elemen hingga

1. PENDAHULUAN

Dunia industri saat ini memegang peranan penting dalam perkembangan teknologi terutama dalam bidang manufaktur, mengalami perkembangan yang sangat pesat. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya industri yang bersaing dalam hal kualitas dan kuantitas, tuntutan yang paling utama bukan hanya kualitas barang yang tinggi, tapi juga waktu proses yang singkat. Sehingga diharapkan proses produksi dapat dilakukan secara cepat. Beberapa komponen, bahkan hampir seluruh barang teknik dikerjakan dengan menggunakan mesin karena dengan menggunakan mesin, proses produksi menjadi lebih cepat. Dengan proses produksi yang cepat maka akan meningkatkan efisiensi kerja.

Pengaruh variasi kecepatan spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman

pemakanan pada baja ST 40 pemesinan bubut CNC yang menghasilkan rata-rata tingkat kekasaran permukaan terkecil didapat bahwa tingkat kekasaran paling rendah dicapai pada interaksi kecepatan spindel 1250 rpm, kecepatan pemakanan 0,07 mm/rev dan kedalaman pemakanan 0.25 mm yaitu sebesar $1,30 \mu\text{m}$ (Ruliono, 2010). Mesin bubut sangat berperan terutama di dalam industri permesinan. Misalnya dalam industri otomotif, mesin bubut berperan dalam pembuatan komponen-komponen kendaraan, seperti mur, baut, poros, dan lain-lain. Untuk itu dalam dunia industri peningkatan kualitas dan tercapainya kuantitas menjadi bagian yang sangat penting dalam sebuah perusahaan. Satu lagi tuntutan yang harus dipenuhi adalah tingkat kekasaran permukaan hasil proses pemesinan. Tuntutan ini harus juga diperhatikan karena memiliki

pengaruh terhadap fungsi dari produk atau komponen tersebut, terutama untuk bagian-bagian yang berpasangan, misalnya komponen yang akan dipasang pada poros dan *bearing*. Selain ukurannya harus sesuai, komponen tersebut juga harus memiliki tingkat kekasaran tertentu. Hal ini dimaksudkan agar komponen tersebut dapat berfungsi secara maksimal dan memiliki umur pakai yang tinggi.

Permukaan dengan tingkat kekasaran yang tinggi, terutama pada bagian yang banyak terjadi kontak akan menyebabkan terjadinya gaya gesekan yang cukup tinggi yang pada akhirnya akan menyebabkan keausan. Untuk itulah, pada setiap gambar kerja biasanya disyaratkan tingkat kekasaran tertentu pada bagian tertentu dari komponen tersebut (Ruliono, 2010).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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 tipe-tipe permasalahan phisis yang dapat dipecahkan oleh metode elemen hingga diantaranya pemecahan masalah tegangan (*stress*), *buckling* (tekukan) dan analisis getaran.

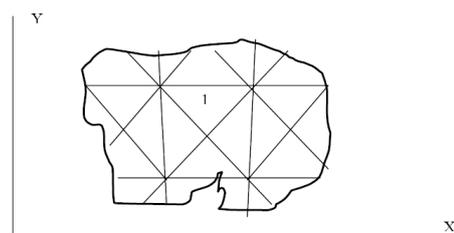
Metode elemen hingga (*finite element method*) banyak memberikan andil dalam melahirkan penemuan-penemuan bidang riset dan industri, Hal ini dikarenakan dapat berperan sebagai *research tool* pada eksperimen numerik. Aplikasi banyak dilakukan pada problem kompleks diselesaikan dengan metode elemen hingga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

2.2 Elemen Dua Dimensi

Bentuk yang sering dipergunakan adalah elemen segi tiga dan elemen segi empat. 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. Tipe dua dimensi



Gambar 2. Luasan elemen segitiga

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

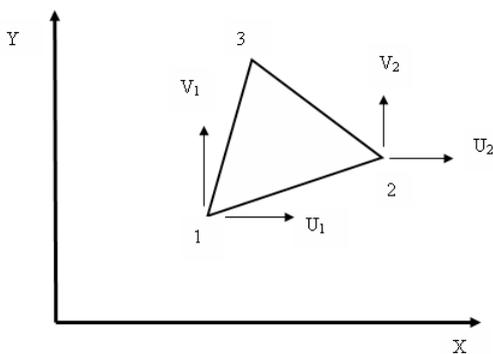
$$u(X, Y) = \alpha_1 + \alpha_2 X + \alpha_3 Y$$

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

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

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

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



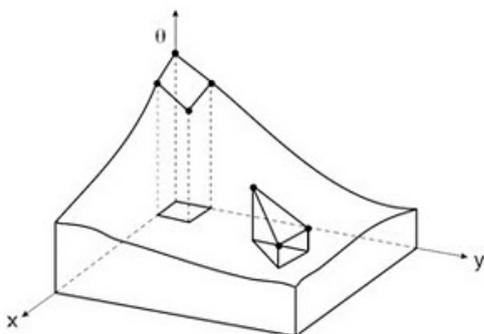
Gambar 3. Elemen segitiga dengan 3 node

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 dimasukan 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.

$$[A_1]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix}^{-1} = \frac{\text{titik dari } [A_1]}{\text{determinan } [A_1]}$$

$$= \frac{1}{\det \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}}$$

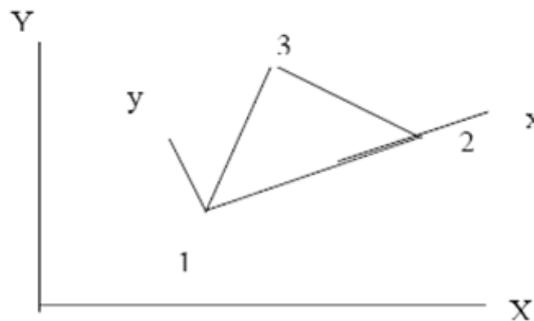
Dimana:

$$a_1 = X_2 Y_3 - X_3 Y_2$$

$$a_2 = X_3 Y_1 - X_1 Y_3$$

$$a_3 = X_1 Y_2 - X_2 Y_1$$

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



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*.

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

Dua kategori model matematik:

- a. *lumped parameter models (discrete-system)*
- b. *continuum mechanics based models (continou system)*.

3. METODE PENELITIAN

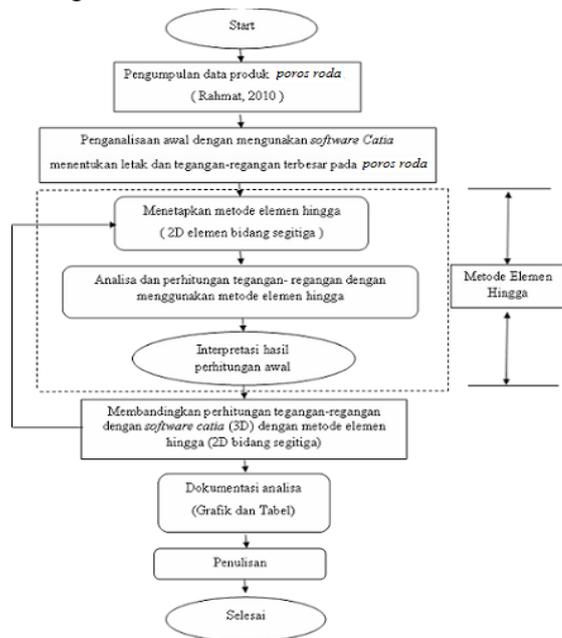
Secara garis besar tahapan penelitian yang ditujukan untuk menyelesaikan penganalisaan kekuatan poros roda mobil listrik adalah sebagai berikut:

- a. Pengumpulan data sebelumnya. Pada tahap ini, mengumpulkan data-data poros roda mobil listrik (Rahmat, 2010). Sehingga data yang diambil benar-benar akurat dengan data sebelumnya.
- b. Analisa awal data sebelumnya. Pada tahap ini, melakukan analisa awal dari produk poros roda mobil listrik (Rahmat, 2010).
- c. 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.

- d. Analisa kekuatan material. Menentukan posisi tegangan terbesar dimana pada posisi ini akan terjadi awal kerusakan/kegagalan. Melakukan uji struktur piringan poros roda mobil listrik dengan bantuan software CATIA. Uji struktur hanya pada pembebanan pengguna dan piringan poros roda mobil listrik secara statis.
- e. Analisa kekuatan dari poros roda dengan metode Element Hingga. Menganalisa kekuatan dari produk poros roda mobil listrik dimana pada tahap ini produk poros roda mobil listrik akan dilakukan perhitungan tegangan dengan menggunakan metode Elemen hingga.
- f. 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:

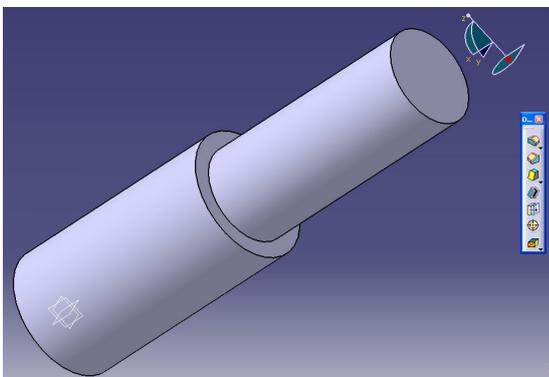


Gambar 6. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 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.



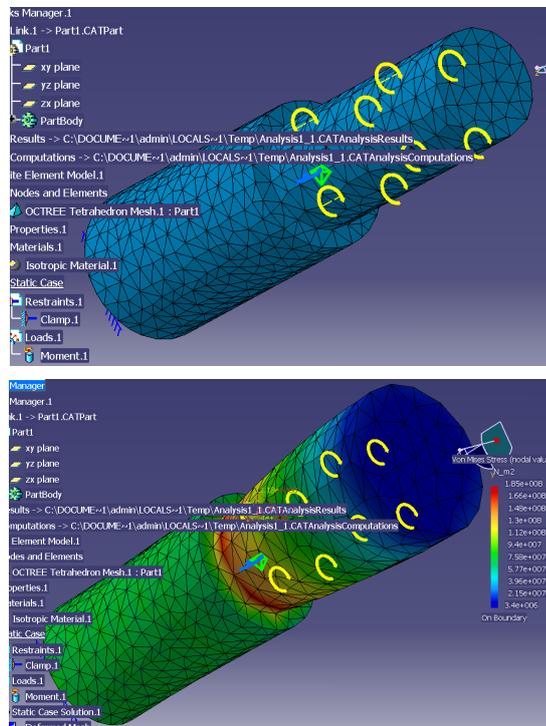
Gambar 7. Tampilan desain dan *generative structural analysis*

4.2 Analisa Tegangan Struktur Poros Roda

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 (memori, kapasitas hardisk, prosesor, *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 performa dari komputer yang standar 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 poros dengan pembebanan 10.000 N.m

Dari hasil perhitungan secara komputasi didapatkan tegangan maksimum yang bekerja pada poros roda tersebut yaitu $1,85 \times 10^8$ N/m² terletak pada bagian tengah poros roda sedangkan tegangan minimum yang bekerja pada poros roda yaitu $3,4 \times 10^6$ N/m² terletak pada bagian tepi poros.

4.3 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) dari bahan poros yaitu baja ST42 sebesar $8,7 \times 10^{12} \text{ N/m}^2$ dan perhitungan analisa tegangan menggunakan Nilai 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 $1,85 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Ini dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan equivalent atau tegangan *von mises* masih dibawah tegangan yang diijinkan, dengan kata lain poros roda aman untuk digunakan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 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 poros sebesar $1,85 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ terletak pada bagian tengah poros.
2. Metode elemen hingga yang dipergunakan adalah 2D dalam hal ini elemen bidang segitiga dengan 3 node didasarkan untuk keperluan analisa suatu kontinum yang berupa luasan. Permasalahan yang dapat

dipecahkan oleh elemen bidang segitiga ini menyangkut matrik kekakuan elemen, *plain strain* dan *plain stress* serta vektor-vektor gaya yang bekerja pada elemen dari produk poros tersebut. Secara terperinci hal-hal yang disebut akan ditinjau dalam sistem koordinat lokal dan sistem koordinat global.

5.2 Saran

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

- 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.
- Grandin, Hartley, Jr. 1986. *Fundamentals of the finite Element Method*. New York: Macmillan publishing company.
- Hidayat, A. Sukma. 2010. *Pengaruh Putaran Spindel, Kedalaman Potong, dan Gerak Makan Terhadap Getaran Pada Proses Bubut Tanpa Tail Stock*. Jember: Universitas Jember.
- Kendari Pos. 2005. *Tingkat Perbaiki Keseimbangan Tubuh*. Edisi Sabtu, November 2005)
- Nugroho, Wiedhi. A. 2005. *Design of tricycle bike, Final Project, Manufacture Engineering*. Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya.
- Nurmianto, Eko. 1999. *Ergonomi konsep dasar dan aplikasinya, Edisi pertama*. Penerbit Guna Widya.
- Robert D. Cook. 1990. *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Bandung: PT. EAEOCO.
- Sutatio, Yerri. 2004. *Dasar-dasar Metode*

Elemen Hingga. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Sonief, Ir. A. As'ad. MT. *Diktat Metode Elemen Hingga*. Bandung: ITB

Supriyono. *Aplikasi Metode Elemen Hingga untuk Perhitungan Perambatan Panas pada kondisi Tunak*. Batam: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir.

Wardani, Laksmi. K. 2003. *Evaluasi ergonomis dalam perancangan desain*. Jurusan Desain Interior, Fakultas Seni dan Desain, Universitas Kristen Petra Surabaya.