

Aplikasi Metode Elemen Hingga dan Pugh's Concept Selection pada Perancangan Kursi Roda

Finite Element and Pugh's Concept Selection Application in the Design of Wheeled Chair

Mohammad Kurniadi Rasyid^{1*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Indonesia
Jl Raya Puspipetek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten 15320

Abstrak

Penelitian ini memfokuskan pada pemodelan kursi roda yang akan digunakan terutama pada orang cacat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang kursi roda yang murah, yang dapat dengan mudah dipindahkan namun tetap aman digunakan. Sandaran kursi dirancang sedemikian rupa sehingga orang-orang cacat tidak jatuh ke belakang. Selain itu, kekuatan kerangka harus mampu menahan beban tanpa perubahan bentuk atau rusak. Konsep desain dibuat dengan tiga material yang berbeda. Selanjutnya untuk pemilihan material terbaik digunakan pugh's concept. Computer Aided Design (CAD) perangkat lunak digunakan dalam merancang model ini. Kemudian model CAD dianalisis melalui perangkat lunak rekayasa Autodesk Inventor. Analisis elemen hingga dilakukan oleh perangkat lunak ini. Analisis difokuskan pada tiga jenis bahan yang dipakai, yaitu titanium, aluminium dan stainless steel. Gaya vertikal maksimum 1000 N diaplikasikan pada dudukan kursi untuk mempresentasikan berat maksimum dan gaya horizontal 100 N untuk sandaran kursi. Lendutan dan tegangan yang terjadi kemudian di evaluasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketiga material kuat dan aman digunakan untuk kursi roda. Dilihat dari sisi berat dan biaya maka aluminium 6061 beratnya paling ringan dan murah. Berdasarkan analisa pugh's concept menunjukkan bahwa aluminium 6061 memiliki nilai paling baik untuk diterapkan dalam industri pembuatan kursi roda.

Kata Kunci : elemen hingga, konsep pugh, kursi roda

Abstract

This research focuses on wheelchair modeling that will be used especially in disabled people. The purpose of this study is to design a cheap wheelchair that can be easily moved but is still safe to use. The backrest of the chair is designed so that people with disabilities do not fall backwards. In addition, the strength of the frame must be able to withstand loads without changing shape or damage. The design concept is made with three different materials. Furthermore, for the selection of materials the best use of the pugh's concept. Computer Aided Design (CAD) software is used in designing this model. Then the CAD model was analyzed through Autodesk Inventor engineering software. Finite element analysis is done by this software. The analysis focused on three types of materials used, namely titanium, aluminum and stainless steel. The maximum vertical force of 1000 N is applied to the seat stand to present the maximum weight and 100 N horizontal force for the seat backrest. The deflections and stresses that occur are then evaluated. The results of this study indicate that all three materials are strong and safe to use for wheelchairs. In terms of weight and cost, the 6061 aluminum is the lightest and cheapest. Based on the pugh's concept analysis shows that aluminum 6061 has the best value to be applied in the wheelchair manufacturing industry.

Keyword : wheelchair, pugh, finite element

*Penulis Korespondensi. Tepl: +62 21 7561091; fax: +62 21 7560542
Alamat E-mail : kurniadirasyid@gmail.com (Kurniadi)

1. Pendahuluan

Latar belakang penelitian ini dibuat karena banyak orang yang sakit kaki atau cacat di Indonesia memiliki kesulitan pendanaan untuk membeli kursi roda. Sehingga perlu dirancang kursi murah yang dapat dengan mudah dipindahkan karena ringan namun tetap aman digunakan. Penelitian ini bertujuan mencari material yang cocok untuk diterapkan pada rangka (*frame*) kursi roda khususnya di Indonesia dengan melihat beberapa parameter seperti kekuatan, ketahanan terhadap lendutan (kekakuan), keamanan (*safety*), biaya pembelian bahan, berat material dan mudahnya mendapatkan bahan (ketersediaan).

Pada umumnya *frame* kursi roda dibuat dari beberapa material. Material yang biasa digunakan untuk rangka (*frame*) kursi roda adalah stainless steel. Sementara pihak industri lebih banyak memproduksi rangka yang berbahan aluminium. Perkembangan teknologi membuat banyak pihak mulai menggunakan titanium yang sudah lebih dahulu digunakan untuk sepeda balap. Sementara riset terakhir lebih banyak mulai melibatkan carbon fiber yang dibanyak penelitian dinilai lebih ringan dan lebih kuat. Tapi dalam penelitian ini carbon fiber tidak ikut dianalisa, karena alasan ketersediaan dan biaya.

Hingga saat ini penelitian yang berkaitan dengan kursi roda dan kecocokannya untuk penggunaan di tanah air masih sangat sedikit yang meneliti.

2. Teori Dasar

Metode elemen hingga adalah suatu metode yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai persoalan mekanika dengan geometri yang kompleks. Keunggulan dari metode ini adalah karena secara komputasi sangat efisien, memberikan solusi yang cukup akurat terhadap permasalahan yang kompleks, dan untuk beberapa permasalahan metode ini mungkin adalah satu-satunya cara. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Richard Courant, 1943. Dengan menggabungkan Ritz Method pada metode numerik dan minimalisasi variasi kalkulus untuk mendapatkan solusi yang tepat untuk sistem getaran. Metode ini kemudian dikembangkan lagi pada 1956, meliputi juga sistem kekerasan dan defleksi oleh material berbentuk kompleks. Pengembangan Metode Elemen Hingga pada mekanika struktur biasanya berdasar pada prinsipal energi seperti prinsipal kerja virtual dan juga prinsipal total energi potensial minimum. Dalam aplikasinya, obyek atau sistem yang ingin diteliti diwakilkan secara

geometris dengan model yang sama dimana terdiri dari kelipatan, sambungan, penyederhanaan dari daerah deskriptasi. Persamaan keseimbangan dalam kaitannya dengan pertimbangan fisis yang dapat digunakan, seperti hubungan kecocokan dan konstitutif, diaplikasikan pada tiap elemen, sehingga terbentuklah sebuah sistem persamaan. Sistem persamaan ini kemudian diselesaikan menggunakan teknik linear aljabar atau perhitungan numerik non-linear, sebagaimana pantasnya. Keakuratan Metode Elemen Hingga dapat ditingkatkan dengan cara menyempurnakan mesh pada model dengan menambahkan elemen dan nodes. Metode Elemen Hingga biasanya digunakan untuk menentukan tegangan dan regangan dari benda dan sistem mekanikal. Metode Elemen Hingga dapat menyelesaikan persoalan dengan sistem kompleks yang dimana tidak dapat diselesaikan dengan perhitungan secara analitis.

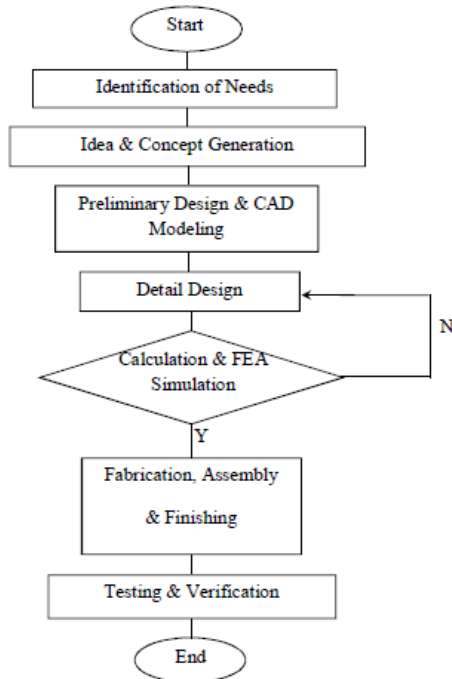
Ide utama dari metode elemen hingga adalah untuk memecahkan elemen yang sangat kompleks dengan batasan yang tidak ditentukan menjadi suatu elemen dengan batasan yang kecil. Masing-masing elemen diperhitungkan sebagai bagian dalam permasalahan utama, dengan demikian terdapat hubungan antar elemen yang saling berkaitan melalui informasi global tentang deformasi, yang biasanya berhubungan dengan karakteristik elemen. Pendekatan Newton-Raphson merupakan metode paling banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah geometri. Karena hasil yang didapatkan dalam metode ini terbukti telah memecahkan beberapa kasus yang ada.

Meskipun cikal bakal teori FEM sudah ada sejak tahun 1940-an, baru pada tahun 1970-an metode ini dirumuskan secara formal. Pada awalnya metode ini digunakan dibidang teknik penerbangan untuk perhitungan kekuatan bangun-raga (*structure*) pesawat pada industri pesawat terbang. Tetapi dewasa ini FEM telah diterapkan dalam berbagai persoalan teknik: seperti struktur, dinamika fluida, perpindahan panas, akustik, maupun elektromagnetik.

3. Metodologi

Desain Penelitian

Gambar 1 menunjukkan proses desain yang terlibat. Dimulai dengan mengidentifikasi persyaratan. Ide dan konsep yang dihasilkan dipilih dengan menggunakan metode pemilihan matriks keputusan Pugh [1,2].



Gambar 1. Desain Penelitian

Desain dan Pemodelan

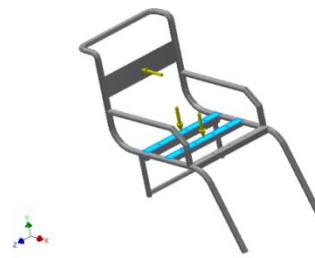
Computer Aided Design (CAD) perangkat lunak digunakan dalam merancang model ini. Kemudian model CAD dianalisis melalui perangkat lunak rekayasa Autodesk Inventor. Analisis elemen hingga dilakukan oleh perangkat lunak ini. Analisis difokuskan pada tiga jenis bahan yang dipakai, yaitu titanium, aluminium dan stainless steel. Gaya vertikal maksimum 1000 N diaplikasikan pada dudukan kursi dan 100 N untuk sandaran. Lendutan dan tegangan yang terjadi kemudian di evaluasi. Untuk pemilihan material terbaik digunakan pugh's concept.

Model Elemen Hingga dan Analisa

Sebuah konsep desain kursi roda dipilih terlebih dahulu seperti terlihat pada Gambar 2. Rangka kursi yang dirancang menggunakan 3D CAD ini kemudian diberikan beban seperti pada Gambar 3.

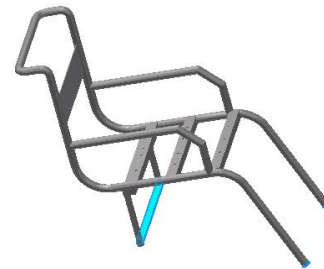


Gambar 2. Model yang dikonsepsi



Gambar 3. Posisi Pembebanan

Untuk menahan beban yang diberikan maka perlu dipilih jenis dan lokasi penahan (*constraint*) seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Posisi Constrain

Tabel 1. *Mechanical properties*

Material	Stainless Steel	Aluminium 6061	Titanium
Yield Strength	250 MPa	275 MPa	275.6 MPa
Ultimate Tensile Strength	540 MPa	310 MPa	344.5 MPa
Young's Modulus	193 GPa	68.9 GPa	102.81 GPa
Poisson's Ratio	0.3 ul	0.33 ul	0.361 ul
Shear Modulus	74.2308 GPa	25.9023 GPa	37.77 GPa

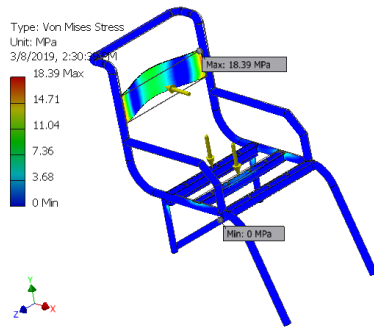
Tabel 2. Ukuran Fisik

Material	Stainless Steel	Aluminium 6061	Titanium
Density	8.08 g/cm ³	2.71 g/cm ³	4.51 g/cm ³
Mass	25.7694 kg	8.64294 kg	14.2577 kg
Area	1501060 mm ²	1501060 mm ²	1482340 mm ²
Volume	3189280 mm ³	3189280 mm ³	3161350 mm ³

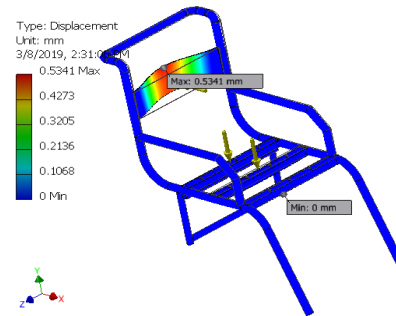
4. Hasil dan Pembahasan

Analisa Kekuatan/Tegangan

Hasil analisa tegangan dapat dilihat pada Gambar 4. Sedang rincian tegangan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 4. Analisa Tegangan Model 1



Gambar 5. Analisa deformasi (lendutan) Model 1

Tabel 3. Rincian Tegangan yang Terjadi

Name	Stainless Steel	Alumunium 6061	Titanium
Von Mises Stress	18.392 MPa	18.3035 MPa	18.213 MPa
1st Principal Stress	19.9378 MPa	20.1262 MPa	20.327 MPa
3rd Principal Stress	4.14844 MPa	4.26719 MPa	4.5028 MPa
Displacement	0.5340 mm	1.48537 mm	0.9861 mm
Stress XX	8.9914 MPa	9.48515 MPa	10.023 MPa
Stress XY	8.6765 MPa	8.46092 MPa	8.1278 MPa
Stress XZ	3.0359 MPa	3.05023 MPa	3.0806 MPa
Stress YY	8.2932 MPa	8.52674 MPa	8.7994 MPa
Stress YZ	7.2699 MPa	7.04286 MPa	6.7970 MPa
Stress ZZ	19.847 MPa	20.0313 MPa	20.226 MPa

Hasilnya menunjukkan bahwa tegangan maksimal yang terjadi 18 MPa dan ini lebih kecil dari tegangan yang diizinkan baik untuk stainless steel 250 MPa, alumunium 6061 dan titanium 275 MPa sehingga ketiga material ini dapat digunakan untuk menahan tegangan yang terjadi.

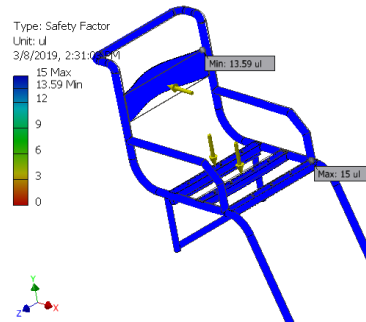
Analisa Lendutan/Deformasi

Hasil analisa deformasi untuk material Stainless Steel ditunjukkan pada Gambar 5 dan hasil analisa lendutan semua material dapat dibaca pada Tabel 3.

Hasil analisa terhadap lendutan yang terjadi ternyata stainless steel lebih baik dibanding alumunium 6061 dan titanium dengan nilai sebagai berikut: stainless steel 0.53 mm, alumunium 6061 1.58 mm dan titanium 0.99 mm. Tapi ketiga material masih berada dibawah batas maksimum lendutan 10 mm yang diizinkan untuk sandaran kursi roda.

Analisa Nilai/Faktor Keamanan

Analisa nilai keamanan dapat dilihat pada Gambar 6 untuk stainless steel dan Tabel 4 untuk nilai keamanan ketiga material.



Gambar 6. Nilai Keamanan

Tabel 4. Nilai keamanan

Material	Faktor Keamanan
Stainless	13.6 ul
Alumunium 6061	15 ul
Titanium	15 ul

Hasilnya menunjukkan bahwa nilai keamanan sangat baik dan lebih besar dari 1 sehingga stainless steel, alumunium 6061 dan titanium sehingga ketiga material ini aman digunakan untuk menahan beban yang terjadi. Dengan besarnya nilai keamanan ini menunjukkan dimensi rangka masih bisa dirancang untuk yang lebih kecil ukurannya sehingga bisa menghemat bahan.

Analisa Berat

Berat rangka sesuai material sebagai berikut: stainless steel 25.7 kg, alumunium 6061 8.64 kg dan titanium 14.25 kg. Rangka alumunium mempunyai berat yang paling ringan dan stainless steel paling berat.

Analisa Biaya

Analisa biaya ditentukan berdasarkan harga material di lapangan dimana alumunium masih lebih murah dibandingkan stainless steel dan titanium.

Analisa Pugh's Concept

Tabel 5. Pugh decision matrix design selection

Kriteria Penilaian	Material 1 (Stainless steel)	Material 2 (Alu 6061)	Material 3 (Titan)
Kekuatan	8	9	9
Kekakuan	7	3	5
Biaya	8	9	6
Keamanan	10	10	10
Berat	6	9	8
Ketersediaan	9	9	7
Total	8	8.14	7.5

Ket.: Skala Penilaian; Jelek (1) – Bagus (10)

Analisa *pugh's concept* menunjukkan bahwa alumunium 6061 memiliki nilai paling baik. Hal ini menunjukkan industri pembuat kursi roda telah memilih material paling tepat untuk saat ini.

5. Kesimpulan

- Penelitian ini menunjukkan bahwa ketiga material yang dianalisa baik stainless steel, alumunium 6061 dan titanium kuat dan aman digunakan untuk kursi roda.
- Jika pilihan dilihat dari sisi berat dan biaya maka alumunium 6061 pilihan paling baik karena beratnya paling ringan dan paling murah.
- Berdasarkan Analisa *pugh's concept* menunjukkan bahwa alumunium 6061 memiliki nilai paling baik.

Ucapan Terima Kasih

Kami ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya terhadap semua pihak yang telah membantu khususnya Institut Teknologi Indonesia baik dari prodi Mesin ITI juga LPKT-ITI.

Daftar Pustaka

- [1] Thakker, A., Jarvis, J., Buggy, M. and Sahed, A. 2009. 3D-CAD conceptual design of the next-generation impulse turbine using the Pugh decision-matrix. *Materials & Design*, 30(7): 2676-2684.
- [2] Ulrich, K.T. and Eppinger, S.D. 2008. *Product design and development*. 4th Edition. New York: McGraw-Hill.
- [3] Bedford, A. and Fowler, W. 2008. *Engineering mechanics: Static*. 5th Edition. New Jersey: Prentice Hall.
- [4] Budynas, R.G. and Nisbett, J.K. 2008. *Shigley's mechanical engineering design*. 8th Edition. Singapore: McGraw-Hill.

- [5] Mingzhou, S., Qiang, G. and Bing, G. 2002. Finite element analysis of steel members under cyclic loading. *Finite Elements in Analysis and Design*, 39 (1): 43-54.
- [6] Riley, W.F., Sturges, L.D. and Morris, D.H. 1999. *Mechanics of materials*. 5th Edition. USA: John Wiley & Sons, Inc.