

SIMULASI PENGUJIAN MEJA PRAKTIKUM USULAN LABORATORIUM PROSES MANUFAKTUR DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN *FINITE ELEMENT METHOD* (FEM)

SIMULATION TESTING OF PROPOSED TABLE PRACTICE LABORATORY PROCESS MANUFACTURING USING FINITE ELEMENT METHOD (FEM) APPROACH

Mubarak¹, Mira Rahayu, S.T.,M.M.², Teddy Syafrizal, B.Eng.,M.Sc.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom
¹mubaraks@student.telkomuniversity.ac.id, ²mirarahayu@telkomuniversity.ac.id,
³teddysjafrizal@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada fase pengembangan produk terdapat fase testing dan refinement dimana fase ini dilakukan setelah adanya detail design yang didalamnya terdapat dimesi, bentuk, material, karakteristik produk yang telah dihasilkan. Dalam melakukan testing atau pengujian dibutuhkan prototype. Prototype adalah penaksiran atau perkiraan produk berdasarkan tujuan-tujuan yang ingin didekati. Pada penelitian pertama yang berjudul "Perancangan Workstation CNC Router Yang Ergonomis Menggunakan Metode EFD" dalam penelitian tersebut di hasilkan konsep perancangan design yang mempertimbangkan aspek ergonomi terhadap fungsi produk. Desain yang dihasilkan pada penelitian tersebut merupakan prototype analitis dengan menggunakan software CAD.

Hasil desain dari penelitian pertama tidak dilakukan pengujian mengenai kekuatan dan kemampuan meja dalam menahan beban yang merupakan salah satu fase dalam pengembangan produk. Oleh karena itu penelitian ini akan berfokus pada pada pengujian kekuatan struktur meja CNC yang sudah di desain. Pengujian yang dilakukan menggunakan *prototype* analitis sehingga pengujian ini berupa sebuah simulasi dengan menggunakan *Finite Element Method* (FEM). Metode *Finite Element* memungkinkan *engineer* untuk menganalisa benda/produk dengan geometri kompleks dan komposisi material yang berbeda sehingga dapat memecahkan masalah-masalah dinamis. Hasil penelitian diperoleh nilai *Faktor fo Safety* dari meja CNC dikatakan aman dan dari hasil analisis *stress* dan *displacement* meja tersebut dikatakan aman. Dari nilai *Faktor of Safety* yang dihasilkan cukup tinggi desain sehingga dapat dilakukan optimasi yang dapat mempengaruhi faktor ekonomi dan faktor estetika. Desain yang telah dioptimasi didapat nilai *Faktor of Safety* yang masih dalam kondisi aman sehingga desain hasil optimasi dapat dijadikan pertimbangan untuk diproduksi dan diterapkan pada keadaan sebenarnya.

Kata kunci: *Faktor of Safety, Finite Element Method*

Abstract

In the product development phase there is a phase of testing and refinement where this phase is done after the detail design in which there are dimension, shape, material, product characteristics that have been produced. In testing or testing required prototype. Prototype is an assessment or approximation of the product based on the goals to be approached. In the first study entitled "Designing an Ergonomic CNC Router Workstation Using EFD Method" in the research resulted in the concept of design design that consider aspects of ergonomics to the function of the product. The resulting design was an analytical prototype using CAD software.

The design results from the first study did not test the strength and ability of the table in holding the load which is one of the phases in product development. Therefore this study will focus on testing the strength of CNC table structures already in the design. The tests were performed using an analytical prototype so that this test was a simulation using *Finite Element Method* (FEM). The *Finite Element* method allows engineers to analyze objects / products with complex geometries and different material compositions so as to solve dynamic problems. The result of this research is that the *fo Safety Factor* from the CNC table is said to be safe and the result of the *stress* and *displacement* analysis of the table is said to be safe. From the value of *Factor of Safety* generated high enough design so that it can be done optimization that can affect economic factors and aesthetic factors. Design that has been optimized obtained value *Factor Safety* is still in a safe condition so that the optimization of the design can be considered to be produced and applied to the actual situation.

Keywords: *Faktor of Safety, Finite Element Method*

Pendahuluan

Pada fase pengembangan produk terdapat fase *testing* dan *refinement* dimana fase ini dilakukan setelah adanya *detail design* atau disebut juga desain rinci yang didalamnya terdapat dimesi, bentuk, material, karakteristik produk yang telah dihasilkan. Dalam melakukan *testing* atau pengujian dibutuhkan *prototype* yang merupakan suatu contoh produk yang digunakan sebagai bahan pengujian. *Prototype* adalah penaksiran atau perkiraan produk berdasarkan tujuan-tujuan yang ingin didekati [3]. Terdapat dua jenis *prototype* yaitu, *prototype* fisik dan *prototype* analitis. *Prototype* fisik merupakan contoh produk secara nyata sedangkan *prototype* analitis merupakan contoh produk tidak nyata yang ditampilkan secara matematis. *Prototype* sendiri diperlakukan sebagai alat pembelajaran.

Sebelum penelitian ini dilakukan terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan. Pada penelitian pertama yang berjudul “Perancangan *Workstation CNC Router* Yang Ergonomis Menggunakan Metode EFD” dalam penelitian tersebut di hasilkan konsep perancangan design yang mempertimbangkan aspek ergonomi terhadap fungsi produk. Setelah penelitian tersebut terdapat penelitian kedua yang berjudul “Perancangan Detail Design pada *Workstation Mesin CNC Training* dengan Menggunakan Metode *Desain For Assembly (DFA)*” yang didalamnya dilakukan perancangan design yang mempertimbangkan kemudahan dalam sisi manufaktur, perakitan, dan juga biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan produk yang pada akhirnya penelitian tersebut menghasilkan *detail design*. Pada laboratorium proses manufaktur saat ini menggunakan meja praktikum yang terbilang sederhana yang berakibat pada aspek ergonomi dan kekuatan meja dalam jangka panjang. Sehingga dilakukan penelitian yang untuk memperbaikinya dengan merancang meja praktikum yang ergonomi. Dalam hal tersebut muncul permasalahan apakah meja perbaikan mampu menahan beban dari *CNC Router* dan dapat diterapkan pada kondisi sebenarnya.

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dengan menggunakan metode *Finite Element Method (FEM)* berdasarkan *detail design* yang telah dihasilkan peneliti sebelumnya. Metode ini dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan elastisitas yang kompleks dan masalah analisis struktural. Dalam penelitian ini *Finite Element Method* memungkinkan peneliti mengetahui kesalahan kesalahan perancangan design meja praktikum usulan dan juga material yang digunakan.

Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada studi ini adalah bagaimana kelayakan desain usulan meja praktikum dari segi kekuatan meja ketika dikenai gaya sebagai fungsi meja.

Tujuan

Tujuan dari studi ini adalah menghasilkan analisis kelayakan desain usulan meja praktikum dari segi kekuatan meja ketika dikenai gaya sebagai fungsi meja.

Metode Penelitian

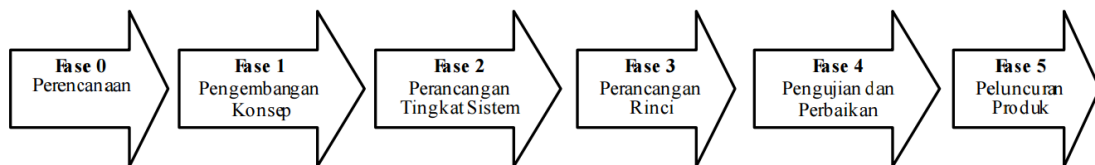
Dalam studi ini metode yang digunakan adalah metode *finite element analysis*. Istilah *finite element analysis* atau metode elemen hingga muncul pada tahun 1960, yang kemudian diakui sebagai cara yang efektif sehingga menjadi bidang pengkajian yang terkemuka dikalangan akademisi. Metode ini tidak hanya diterapkan dalam bidang aliran fluida, perpindahan kalor, medan magnet dan lainnya. Dalam bidang struktur, metode ini telah dikembangkan untuk menyelesaikan persoalan statik, dinamik, *linier* ataupun *non linier* [4]. Mengetahui kemampuan suatu struktur untuk menahan beban merupakan salah satu fokus daripada FEA

Penulis merancang simulasi pengujian meja praktikum usulan laboratorium proses manufaktur dengan menggunakan pendekatan *finite element method (FEM)*.

1. Dasar Teori

Product Development Process

Proses adalah suatu tahapan yang dilakukan dalam langkah-langkah merubah sebuah set dari input menjadi set output [3]. *Product development process* adalah urutan kegiatan yang dilakukan perusahaan untuk menyusun, men-design, dan mengkomersilkan sebuah produk [3]. Proses pengembangan produk menurut Karl T. Ulrich dan Steven D. Eppinger dalam buku yang berjudul “perancangan dan pengembangan produk” (2001, p14) secara umum terdiri dari tahapan-tahapan atau sering juga disebut sebagai fase, dimana proses pengembangan produk secara keseluruhan terdiri 6 fase, yaitu:



Gambar 1 Fase Pengembangan Produk Menurut Ulrich-Eppinger [3]

1. Perencanaan: Kegiatan perencanaan sering dirujuk sebagai “*zerofase*” karena kegiatan ini mendahului persetujuan proyek dan proses peluncuran pengembangan produk aktual.
2. Pengembangan konsep: pada fase pengembangan konsep, kebutuhan pasar target diidentifikasi, *alternative* konsep-konsep produk dibangkitkan dan dievaluasi, dan satu atau lebih konsep dipilih untuk pengembangan dan percobaan lebih jauh.
3. Perancangan tingkat sistem: fase ini mencakup definisi arsitektur produk dan uraian produk menjadi subsistem-subsistem serta komponen-komponen. Gambaran rakitan akhir untuk system produksi biasanya didefinisikan selama fase ini.
4. Perancangan detail: fase ini mencakup spesifikasi lengkap dari bentuk, material, dan toleransi-toleransi dari keseluruhan komponen unik pada produk dan identifikasi seluruh komponen standar yang dibeli dari pemasok.
5. Pengujian dan perbaikan: fase ini melibatkan konstruksi dan evaluasi dari bermacam-macam versi produksi awal produk. *Prototype* awal biasanya dibuat dalam fase ini.
6. Produksi awal: pada fase produksi awal, produk dibuat dengan menggunakan sistem produksi yang sebenarnya. Tujuan dari produksi awal ini adalah untuk melatih tenaga kerja dalam memecahkan permasalahan yang timbul pada proses produksi sesungguhnya.

Prototype

Prototype sebagai sebuah penaksiran produk melalui satu atau lebih dimensi yang menjadi perhatian [3]. Prototype dapat diklarifikasi diantara dua dimensi. Dimensi yang pertama adalah tingkat dimana sebuah *prototype* berbentuk fisik dan dimensi kedua yaitu *prototype* berbentuk analitik. *Physical prototype* merupakan *prototype* dibuat menjadi suatu benda secara nyata untuk dilakukan pengujian dan percobaan. *Prototype* analitik merupakan penampilan produk yang tidak nyata namun biasanya sistematis dan mudah untuk dilakukan analisis.

Tabel 1 Perbandingan *Physical Prototype* dan *Analytical Prototype*

<i>Physical Prototype</i>	<i>Analytical Prototype</i>
Merupakan model secara nyata dari suatu produk	Merupakan model secara matematis dari suatu produk
Dapat menampilkan karakteristik / sifat namun tidak dapat didefinisikan secara jelas	Hanya dapat menampilkan sifat yang timbul secara jelas mengenai fenomena model
Beberapa sifat karakteristik dapat ditampilkan pada produk dari penaksiran	Beberapa sifat / karakteristik dapat ditampilkan pada produk dari hasil analisis
Lebih mudah dikomunikasikan	Seringkali memungkinkan lebih banyak kebebasan dibandingkan percobaan model fisik

Dimensi kedua memiliki tingkatan dimana sebuah *prototype* merupakan *prototype* yang menyeluruh dan terfokus. *Prototype* yang menyeluruh mengimplementasikan sebagian besar atau semua atribut dari produk. *Prototype* yang menyeluruh dapat disamakan dengan pemakaian sehari-hari dari kata *prototype*, merupakan sebuah skala keseluruhan, versi

kerja keseluruhan dari produk. Sebuah contoh *prototype* menyeluruh adalah yang diberikan kepada konsumen untuk mengidentifikasi kekurangan dari desain sebelum diputuskan untuk diproduksi. Berlawanan dari *prototype* menyeluruh, *prototype* terfokus mengimplementasikan satu atau sedikit sekali atribut produk. Contoh *prototype* terfokus meliputi model busa, untuk menggali bentuk dari *prototype* rancangan produk. Sebuah peraktek umum dimaksudkan untuk menggunakan dua atau lebih *prototype* terfokus secara bersama-sama untuk menyelidiki performansi produk secara keseluruhan. Dengan membuat dua *prototype* terfokus yang terpisah, tim dapat menjawab pertanyaan lebih cepat daripada jika membuat satu *prototype* menyeluruh.

Tabel 2 Perbandingan *Focused Prototype* dan *Comprehensive Prototype*

<i>Focused Prototype</i>	<i>Comprehensive Prototype</i>
Mengimplementasikan hanya satu atau beberapa atribut dari produk	Mengimplementasikan banyak atau seluruh atribut dari produk
Menjawab pertanyaan khusus tentang produk desain	Menawarkan kesempatan untuk pengujian yang lebih ketat
Pada umumnya dibutuhkan pada beberapa kasus	Seringkali terbaik digunakan untuk milestones dan integrasi

Computer Aided Design (CAD)

Computer Aided Design adalah suatu program komputer untuk menggambar suatu produk atau bagian dari suatu produk. Produk yang ingin digambarkan bisa diwakili oleh garis-garis maupun simbol-simbol yang memiliki makna tertentu. CAD bisa berupa gambar 2 dimensi dan gambar 3 dimensi [5].

Computer Aided Engineering (CAE)

Computer Aided Engineering (CAE) adalah alat analisis berbasis komputer yang digunakan untuk mengoptimalkan tugas-tugas rekayasa pada setiap tingkatan siklus hidup suatu produk [2]. Alat yang digunakan untuk tugas-tugas rekayasa seperti : analisis struktural, analisis stres material, simulasi, dinamika fluida, analisis termal, perencanaan, mendiagnosis dan analisa data uji.

Teknologi CAE menggunakan sistem komputer untuk menganalisis fungsi dari produk desain CAD, memungkinkan desainer untuk mensimulasikan dan mempelajari bagaimana produk tersebut akan berperilaku sehingga desain dapat disempurnakan dan dioptimalkan. Alat CAE tersedia untuk beberapa jenis analisis. Misalnya, program analisis kinematik dapat digunakan untuk menentukan jalur gerak dan kecepatan secara mekanisme. Program analisis dinamis dapat digunakan untuk menentukan beban dan perpindahan dalam assembly kompleks seperti mobil. Salah satu metode yang paling populer dari analisis menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM). Pendekatan ini dapat digunakan untuk menentukan stres, deformasi, perpindahan panas, distribusi medan magnet, aliran fluida, dan masalah lapangan lain yang sering terjadi dan terlalu sulit untuk dipecahkan dengan pendekatan lain.

Pemodelan dalam CAE pun beragam, dapat berupa bentuk part ataupun assembly. Dengan adanya program CAE, beberapa analisa teknik dapat di hasilkan, antara lain:

1. Analisa tegangan – regangan,
2. Analisa Perpindahan Panas dan aliran fluida dalam suatu media,
3. Kinematik,
4. Proses optimisasi, faktor keamanan, dan *lifetime*,
5. Simulasi Mekanikal, elektrik, sipil, kedokteran, dan lain sebagainya.

Finite Element Analysis (FEA)

Metode FEA digunakan dengan tujuan mengurangi biaya pengujian *prototype* suatu produk secara eksperimen. Istilah finite element analysis atau metode elemen hingga muncul pada tahun 1960, yang kemudian diakui sebagai cara yang efektif sehingga menjadi bidang pengkajian yang terkemuka dikalangan akademisi. Metode ini tidak hanya diterapkan

dalam bidang aliran fluida, perpindahan kalor, medan magnet dan lainnya. Dalam bidang struktur, metode ini telah dikembangkan untuk menyelesaikan persoalan statik, dinamik, *linier* ataupun *non linier* [4].

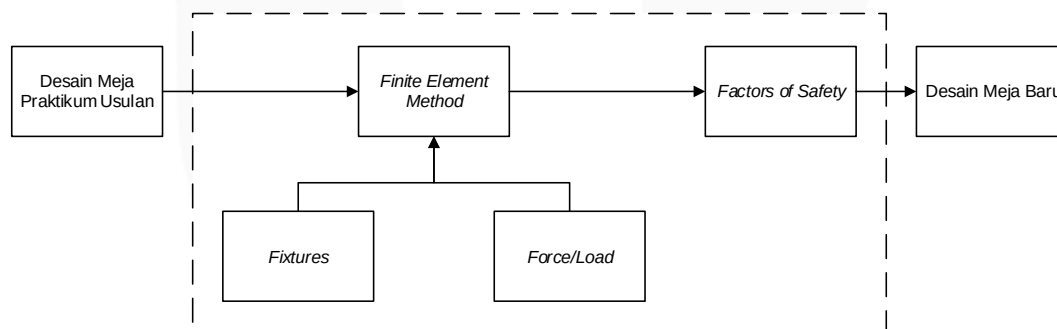
Metode *finite element analysis* adalah sebuah metode penyelesaian numerik yang menggunakan pendekatan dengan membagi-bagi (diskritasi) benda yang akan dianalisa menjadi bentuk elemen-elemen yang berhingga dan saling berkaitan [1].

Pada saat ini pemodelan elemen hingga telah dilakukan dengan bantuan perangkat lunak dan komputer. Namun ada langkah-langkah yang harus diketahui untuk melakukan pembuatan model untuk dianalisa dengan menggunakan elemen hingga.

Tahapan-tahapan tersebut dapat dijabarkan secara garis besar menjadi sebagai berikut:

1. Pembuatan geometri awal struktur yang akan dianalisis
2. Penentuan jumlah elemen yang akan diberikan pada model geometri tersebut
3. Pembuatan elemen dari hasil pemodelan geometri struktur yang akan dianalisa (*mesh generation*)
4. Pemberian kondisi batas (*constraint/boundary condition*) Kondisi batas diperlukan untuk menentukan bagaimana model tersebut tertumpu pada dudukannya dalam kondisi nyata. Hal ini sangat menentukan bagaimana hasil dari analisa model geometri tersebut. Berbagai macam kondisi batas yang biasa digunakan antara lain *fixed-fixed*, *fixed-free*, *free*, dsb.
5. Penentuan jenis material dan properti material yang digunakan, hal ini berkenaan dengan massa jenis dari material tersebut, modulus elastisitas (*young modulus, E*), *poisson's ratio*, dll.
6. Pemberian kondisi pembebanan (*loading condition*). Kondisi pembebanan yang diberikan pada model struktur bergantung dengan kondisi nyatanya. Hal ini dilakukan untuk mendapat hasil yang sedekat mungkin dengan kondisi kenyataan. Beban yang biasa digunakan antara lain beban gaya, momen, atau tekanan baik statik ataupun dinamik.
7. Analisa
Langkah ini merupakan langkah terakhir dalam tahapan analisa metode elemen hingga. Analisa dilakukan dengan perangkat lunak Finite Element Method (FEM). Jenis analisa yang dapat dilakukan juga bervariasi dari jenis analisa statik, dinamik, buckling, maupun analisa perpindahan panas.

3. Metodologi Penelitian



Gambar 2 Model Konseptual

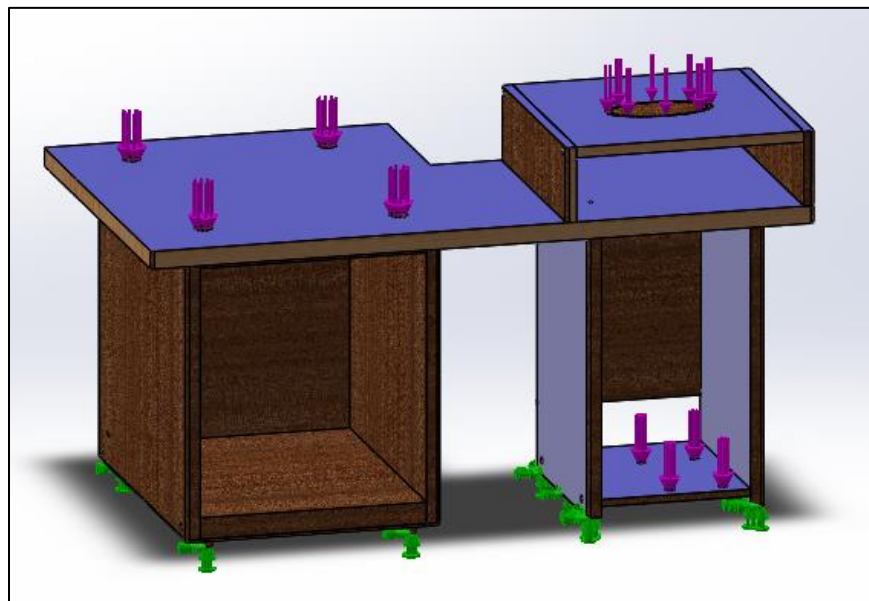
Gambar 3 merupakan model konseptual pada studi ini. Model konseptual ini menuntun variabel-variabel yang terlibat dalam penelitian ini yang berguna untuk mendalami analisis.

Fokus penelitian ini yaitu *Finite Element Method*. FEM menjawab permasalahan pada kekuatan konsep desain meja praktikum usulan peneliti pertama, dimana dari segi *stress* dan *displacement* masih belum terdefinisikan. Parameter untuk segi *stress* dan *displacement* adalah *Factor of Safety*. Bila konsep desain untuk setiap komponen mampu melewati parameter ini, maka pengujian dari segi kekuatan dikatakan layak dan dapat digunakan.

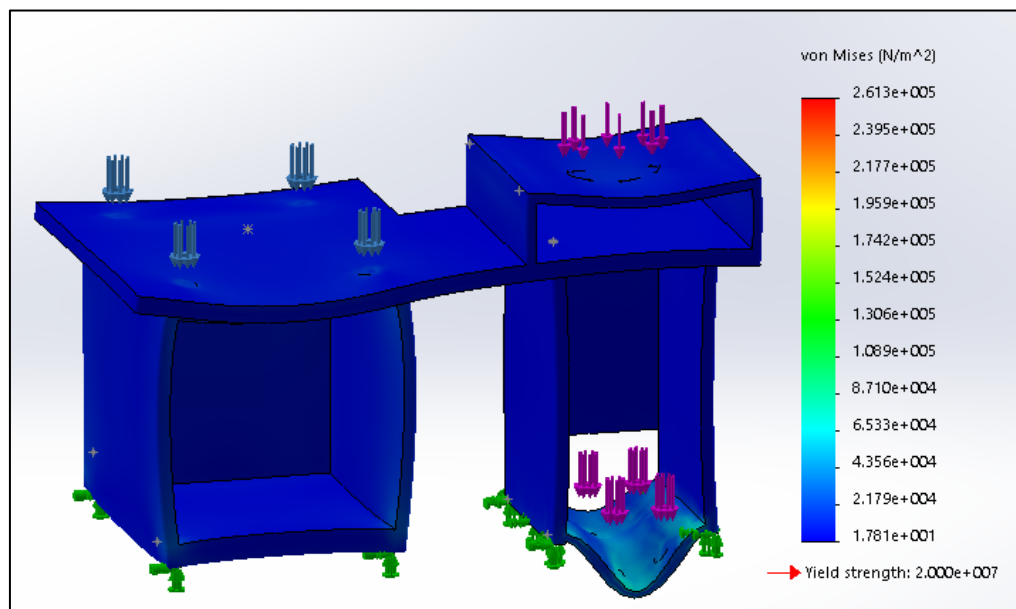
3.1 Pengumpulan Data

Data input *Finite Element Methode* Data input yang diperlukan untuk melakukan pengolahan *Finite Element Methode* terdapat dua data, diantaranya spesifikasi desain dari meja atau workstation CNC Router usulan, dan gaya yang terjadi terhadap meja atau workstation usulan itu sendiri, sehingga dari data data tersebut dapat dilakukan pengolahan Finite Element Methode dan dapat dilihat hasilnya.

3.2 Pengolahan Data Simulasi Struktur Meja Mesin CNC



Gambar 3 Fixture dan force meja mesin CNC Router

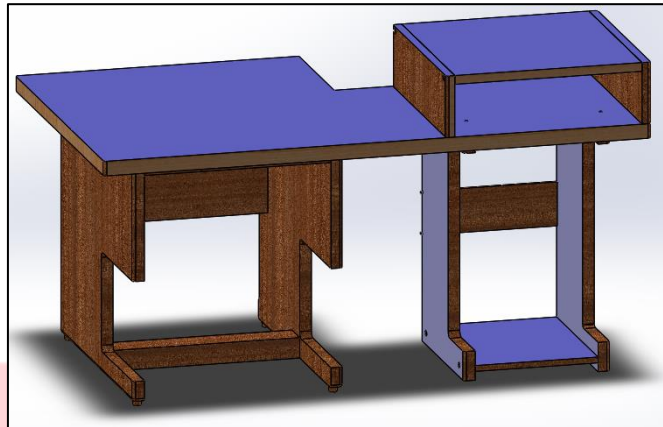


Gambar 4 Hasil analisis stress von Mises Mesin CNC dan komputer

$FOS = yield\ strength / \text{maksimal stress}$

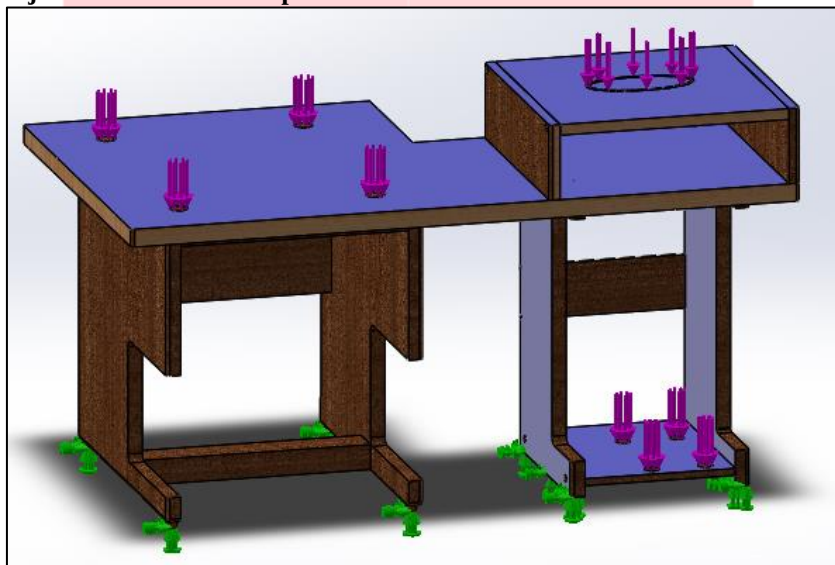
$$FOS = 2.000e+007 \text{ N/m}^2 / 2.613e+005 \text{ N/m}^2 = 76.54 \text{ N/m}^2$$

Optimasi Desain Meja Mesin CNC

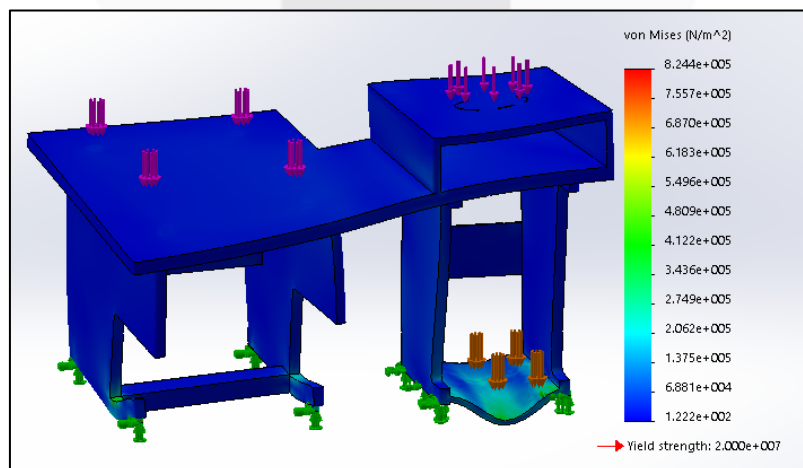


Gambar 5 Meja CNC setelah optimasi

Simulasi Struktur Meja mesin CNC Hasil Optimasi



Gambar 6 *Fixture* dan *force* meja mesin CNC Router hasil optimasi



Gambar 7 Hasil analisis *stress von Mises* Mesin CNC hasil optimasi

$FOS = yield\ strength / \text{maksimal stress}$

$FOS = 2.000e+007\ N/m^2 / 8.244e+005\ N/m^2 = 24.26\ N/m^2$

3.3 Analisis

Dari hasil akhir pengolahan data, Pada hasil simulasi pertama dapat dilihat tidak terdapat kegagalan ekspektasi pada desain dan dapat dilihat nilai maksimal *stress* yang diterima yaitu sebesar $2.613e+005\ N/m^2$ masih dibawah nilai *Yield Strength* $2.000e+007\ N/m^2$. Material dikatakan mulai luluh ketika tegangan *von mises* mencapai nilai kritis yang diketahui sebagai *yield strength* (Von Mises, 1913). Didapat pula nilai factor of safety sebesar $76.54\ N/m^2$ Oleh karena itu struktur desain meja usulan yang dibuat dinyatakan aman dan dapat diterapkan.

Dari simulasi yang telah dilakukan nilai FOS (*Factor of Safety*) didapat sangat tinggi yaitu sebesar $76.54\ N/m^2$ dan dapat dilakukan optimasi pada desain yang telah diusulkan. Optimasi yang dilakukan dapat mempengaruhi faktor ekonomi dan faktor estetika.

Pada simulasi kedua tidak terdapat kegagalan ekspektasi pada desain dan dapat dilihat nilai maksimal *stress* yang diterima yaitu sebesar $8.244e+006\ N/m^2$ masih dibawah nilai *Yield Strength* $2.000e+007\ N/m^2$. Didapat pula nilai factor of safety sebesar $24.26\ N/m^2$ Oleh karena itu struktur desain meja usulan hasil optimasi yang dibuat dinyatakan aman dan dapat diterapkan, sehingga dari dua desain tersebut dapat dijadikan pertimbangan untuk diproduksi dan diterapkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisis maka didapat kesimpulan yang mengacu pada tujuan pada simulasi ini dimana adanya analisis kelayakan dari meja yang telah didesain dari segi kekuatan meja untuk digunakan sebagai mana fungsinya, diantaranya :

1. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa desain meja yang telah dihasilkan memiliki kelayakan untuk digunakan dan diterapkan, dimana dari pengolahan data nilai tegangan yang terjadi ketika diberi beban gaya tidak melebihi nilai *yield strength* materialnya
2. Dari hasil simulasi pula ditampilkan pergeseran atau *displacement* yang terjadi sangat kecil tidak sampai membentur batas toleransi dari rongga yang ada sehingga meja dapat berfungsi secara normal sebagai mana mestinya.
3. Selain dari *displacement* yang kecil nilai FOS (*factor of safety*) tergolong aman yaitu sebesar $72.966\ N/m^2$ dimana jauh diatas nilai yang digolongkan tidak aman.
4. Dari nilai FOS (*factor of safety*) yang sangat tinggi memungkinkan desain untuk dioptimasi, yang diharapkan desain optimasi dapat mengurangi biaya bahan material dan diharapkan menambah nilai estetika produk.
5. Desain usulan dan desain setelah optimasi memiliki nilai FOS yang tergolong aman dan kedua desain dapat dijadikan pertimbangan pada penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

- [1] Akin, J. E. (2009). Finite Element Analysis Concepts.
- [2] Groover, M. (2007). CAD/CAM : Computer-Aided Design and Manufacturing. New Jersey: Pearson.
- [3] Karl T. Ulrich, S. D. (2011). Product Design and Development. McGraw-Hill Europe.
- [4] S.S. Bhavikatti. (2005). Finite Element Analysis
- [5] Rao. (2006). CAD/CAM Principles and Applications. In Rao. New York.