

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

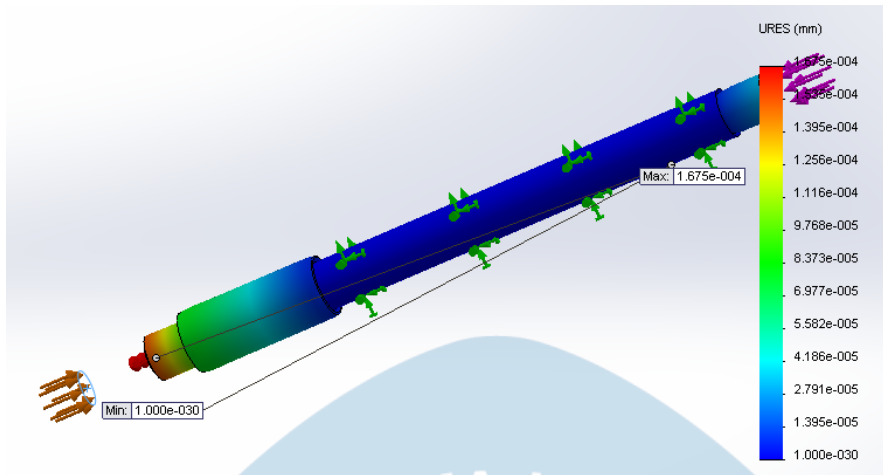
2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian berfokus pada analisis desain menggunakan *Dynamic Finite Element Analysis* (DFEA) untuk redesain mesin *Spinner*. Penelitian tentang FEA dan mesin *Spinner* telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. Penelitian-penelitian tersebut pada sub bab ini akan dibahas dan dibandingkan dengan penelitian terbaru di masa sekarang.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

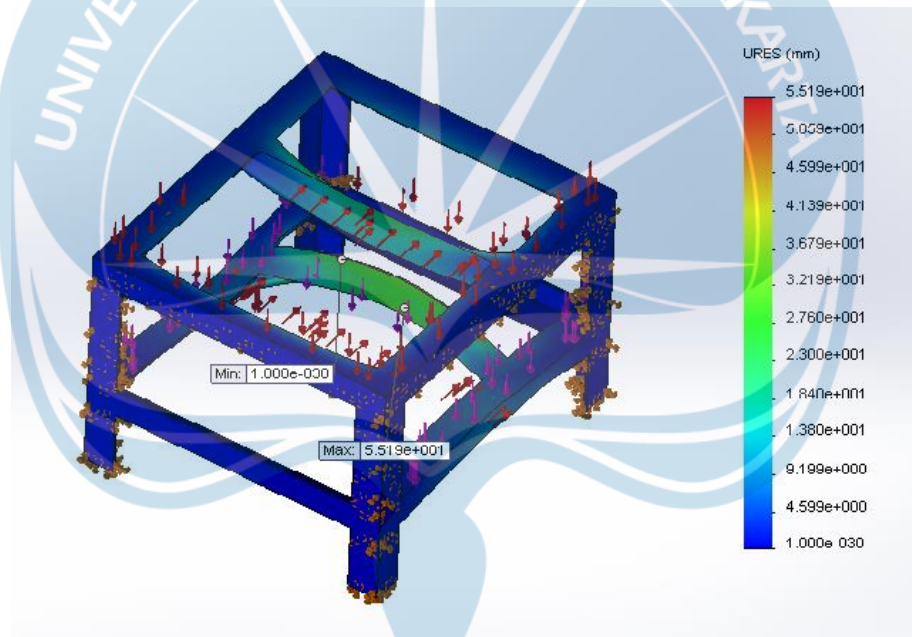
Mesin *Spinner* minyak menurut jurnal yang ditulis oleh Suryanti, dkk (2018) merupakan sebuah mesin yang berfungsi untuk mengurangi kadar minyak pada makanan gorengan (*Fried food*) dengan memanfaatkan gaya sentrifugal. Bahan akan diletakkan dalam keranjang kemudian diputar pada kecepatan tinggi. Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa dengan menggunakan mesin *Spinner* kadar minyak dalam makanan yang sebelumnya sebesar 53.5 % dapat berkurang menjadi 19.3%. Spesifikasi mesin *Spinner* yang digunakan merupakan mesin dengan kapasitas 3 kg dan konsumsi energi sebesar 900 watt. Putaran mesin yang dihasilkan oleh mesin adalah 500 Rpm. Mesin *Spinner* disusun dari 11 *part* yaitu *spinner tube*, *spinner base*, *electric motor*, *motor base*, *pulley*, *outlet pipe*, *machine frame*, *pillow block base*, *pillow block*, *spinner tube pulley*, dan *main shaft*. Semua *part* tersebut dirancang menggunakan *software SOLIDWORK 2018*. Material utama yang digunakan pada mesin adalah aluminium, *stainless steel* dan *structural steel (Cast Carbon Steel)*.

Sugeng Wasito, dkk (2016) dalam penelitiannya terhadap mesin peniris minyak untuk makanan ringan hasil gorengan mengatakan bahwa bagian atau *part* pada mesin *Spinner* minyak yang paling rawan terjadi kerusakan adalah pada bagian poros dan pada bagian rangka. Bagian poros bisa dibilang rawan karena bagian poros akan menerima beban dari atas akibat berat makanan yang ditampung, dan juga menerima beban puntir akibat *pulley* penggerak. Bagian rangka juga merupakan bagian yang rawan karena harus menahan beban semua komponen lain. Analisis *part* kritis dilakukan oleh peneliti menggunakan *software SOLIDWORK 2018* dengan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 2.1. dan 2.2.



Gambar 2.1. Hasil Simulasi Poros

(sumber :Sugeng Wasisto,dkk. 2016)



Gambar 2.2. Hasil Simulasi Rangka

(sumber :Sugeng Wasisto,dkk. 2016)

Zhang, (2017) melakukan penelitian tentang *dynamic modelling and finite element structural optimization of glass handling robot* dan mendapatkan hasil bahwa melalui analisis *modal vibration and deformation*, ditemukan bahwa *glass handling robot* yang didesain (gambar 2.3.) dapat bekerja dengan baik pada kondisi getaran yang terjadi saat mesin bekerja dengan normal. Bagian mesin yang menerima deformasi terbesar adalah pada *part beam* pada sumbu Y dan pada *part sucker*.



Gambar 2.3. Glass Handling Robot Desain

(sumber : Chuangping Zhang, 2017)

Gerakan normal kerja pada robot adalah pada saat proses pengambilan gelas setelah proses *Annealing* menuju *Conveyor Belt*. Mesin tidak mengalami masalah karena proses pengerjaan normal bergerak dengan kecepatan rendah sehingga getaran yang terjadi tidak begitu besar. Proses analisis *modal vibration and deformation* yang dilakukan oleh Zhang, dkk dibantu menggunakan *software ANSYS* dengan data getaran berupa *acceleration spectrum* .

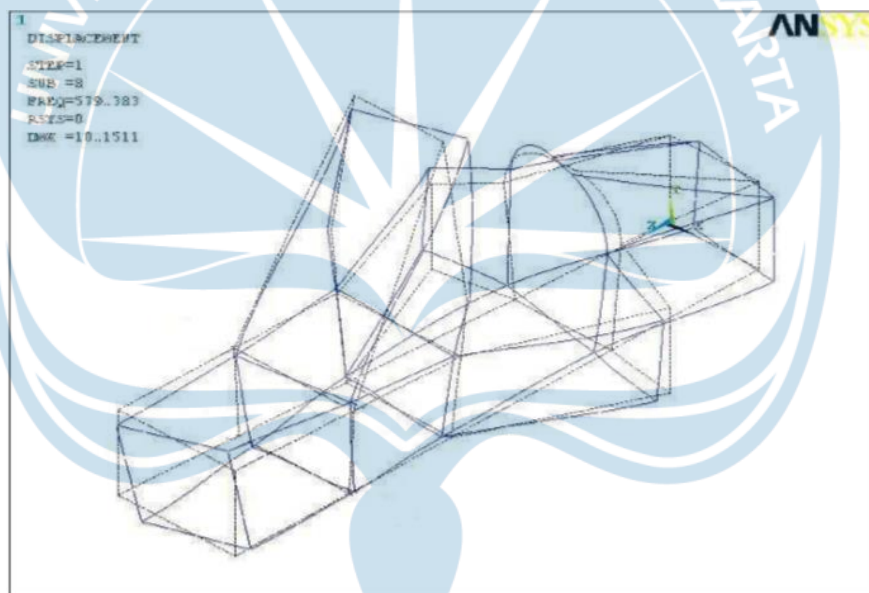
Marzuky, dkk (2015) juga melakukan penelitian tentang analisis getaran menggunakan *Finite Element Analysis* yang dibantu menggunakan *software ANSYS* pada *chassis space frame race car*. Penelitian ini menjelaskan bahwa analisis getaran dapat dilakukan dengan cara *experimental* untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih presisi akan tetapi biaya yang dikeluarkan akan lebih besar dari pada menggunakan *software* simulasi. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa *space frame racer car* akan mengalami resonansi getaran saat bekerja pada 5 keadaan frekuensi yang dinyatakan pada tabel 2.1

Tabel 2.1. Getaran Yang Terjadi Pada *Space Frame Race Car*

<i>Mode</i>	Frekuensi (Hz)
1	150,39
2	203,15
3	389,10
4	515,66
5	759,38

(Sumber : Mohammad Al Bukhari Marzuki, 2015)

Getaran-getaran yang ditunjukkan oleh simulasi menyebabkan bagian *side impact* pada *Space Frame Race Car* menjadi bengkok sehingga perlu dilakukan perbaikan berupa penambahan *Cross Member Frame* pada setiap *bagian side impact*. Gambar 2.4. merupakan hasil analisis ANSYS



Gambar 2.4. Hasil Analisis ANSYS Pada *Space Frame Race Car*

(Sumber: Mohammad Al Bukhari Marzuki, 2015)

Penelitian-penelitian lain yang membahas tentang analisis menggunakan *Finite Element Analysis* juga sudah cukup banyak dilakukan oleh beberapa orang seperti misalnya Ashnawi Kumar (2014) dalam jurnal dengan judul “*Free Vibration Analysis of A1 2024 Wind Turbine Blade Designed for Uttarakhand Region Based on FEA*” menjelaskan tentang menganalisis *blade* turbin untuk pembangkit listrik tenaga angin yang akan dipasang pada daerah Uttarakhand India. Hasil dari penelitian ini adalah *blade* turbin yang digunakan pada pembangkit listrik

mengalami deformasi yang paling besar pada bagian ujung *blade* yang tidak tersambung dengan mesin. Anubav Raj Signh (2019) melakukan penelitian tentang "*Finite Element Analysis of Case Box Tape Sealer Mechanism*" di mana peneliti menganalisis *case box tape sealer* pada sebuah industri untuk mengetahui bagaimana kinerja *case box tape sealer* ini dari segi kekuatan konstruksi. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa tegangan paling besar terjadi pada bagian *pin case box* dan mekanisme *loading* dan *unloading* menyebabkan sering terjadi lonjakan tegangan sesaat pada *case box sealer tape*.

Ada beberapa penelitian yang membahas tentang getaran mesin terutama pada motor listrik. Manish Y. Upadhye (2015) pernah melakukan penelitian tentang pengukuran getaran motor secara *wireless* memanfaatkan *3-axis digital output MEMS Accelerometer sensor*. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa pada motor listrik bekerja pada kondisi 0,5 hp, 1425 RPM, 230 V, 50 Hz menghasilkan getaran dengan amplitudo berkisar di antara 0,156 G hingga 1 G. nilai satuan G adalah satuan percepatan gravitasi di mana besar 1 G sama dengan $9,81 \text{ m/s}^2$. Grafik getaran yang terekam oleh sensor dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Grafik Getaran Motor

(Sumber : Manish Y. Upadhye, 2015)

Mikhail Tyskin (2013) melakukan penelitian tentang frekuensi getaran di mana peneliti menguji tentang teori getaran mesin yaitu “*Twice Line Frequency*”. Teori ini adalah sebuah pemahaman yang mengatakan bahwa simpangan terbesar getaran motor listrik terjadi pada 2 kali nilai frekuensi listrik motor tersebut. Contoh dari teori ini adalah sebagai berikut, apabila sebuah motor listrik bekerja pada frekuensi listrik 50 Hz maka simpangan terbesar akan terjadi pada frekuensi getaran 100 Hz, jika motor bekerja pada frekuensi listrik 60 Hz maka frekuensi getaran yang terjadi sebesar 120 Hz. Mikhail (2013) mencoba melakukan pengecekan getaran pada berbagai macam motor listrik untuk membuktikan bahwa memang hasil getaran yang terjadi merupakan 2 kali nilai frekuensi listriknya. Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian tersebut adalah teori “*Twice Line Frequency*” memang bisa menunjukan getaran yang terjadi pada motor listrik, apabila nilai frekuensi yang didapat sedikit meleset biasanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain misalnya *air gap*, *eccentricity*, *stator / motor dissymmetry*, dan lain-lain. Gambar 2.6 berikut menunjukan grafik beberapa getaran motor yang diuji oleh Mikhail T. (2013)

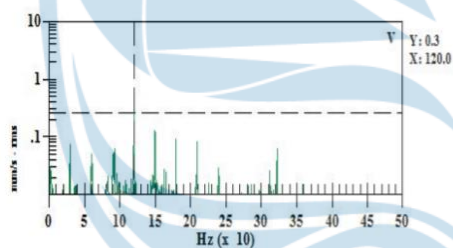


Fig. 2. This vibration spectrum was recorded on a 250 HP 4-pole induction motor, operating at 1792 rpm.

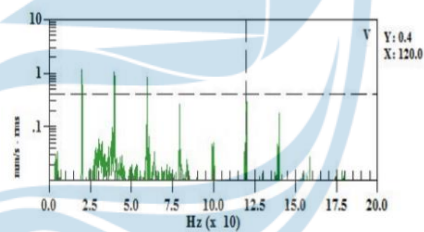


Fig. 3. This vibration spectrum was recorded on an 800 HP 6-pole induction motor, operating at 1190 rpm.

Gambar 2.6. Grafik Spektrum Getaran beberapa Motor Listrik

(Sumber : Mikhail Tyskin, 2013, *Induction Motor Condition Monitoring: Vibration Analysis Technique - a Twice Line Frequency Component as a Diagnostic Tool*)

2.1.2. Penelitian Sekarang

Dari telusuran peneliti terhadap jurnal-jurnal terdahulu, peneliti mendapatkan celah penelitian yang belum dilakukan oleh peneliti lain seperti Sugeng Wasisto (2016) dan Suryanti (2018) yaitu *Finite Element Analysis* dari segi *Natural Frequency* dan *Harmonic Response* mesin *Spinner*. Penelitian tentang analisis getaran menggunakan *software* simulasi desain juga masih jarang dilakukan di negara Indonesia, di mana kebanyakan penelitian menggunakan cara

experimental seperti yang dilakukan Deliana Ardhitama E (2018) dan Wahyu Sugandi (2018) sehingga perlu mengeluarkan biaya yang besar.

Penelitian ini akan dilakukan dengan cara bekerja sama dengan UKM Putri 21 di mana mesin *Spinner* yang mereka miliki bermasalah sehingga dapat dijadikan objek bagi penelitian kali ini. Objek tersebut akan digambar ulang oleh peneliti kemudian dilakukan analisis getaran dan faktor-faktor lain yang menyebabkan kerusakan pada mesin *Spinner* tersebut menggunakan *software SOLIDWORK 2018*. Hasil analisis oleh peneliti dijadikan dasar untuk melakukan tahapan redesain mesin *Spinner* agar lebih tahan dengan getaran motor listrik. Hasil redesain akan didapatkan variasi desain mesin *Spinner*, untuk menemukan desain mana yang paling optimal digunakanlah *software SOLIDWORK 2018* dengan metode mekanika kontak

2.2. Landasan Teori

Ada beberapa hal yang harus dipahami terlebih dahulu sebelum peneliti membahas cara menganalisis getaran dengan bantuan *software SOLIDWORK 2018*. Sub bab ini akan menjelaskan tentang teori-teori yang berkaitan dengan mesin *spinner* dan *Finite Element Analisis*.

2.2.1. CAD dan CAE

Kobalsin, dkk, (2018) menjelaskan bahwa *CAD (Computer Aided Drawing)* merupakan sebuah teknologi yang bertugas memfasilitasi perubahan, analisis, dan optimalisasi pada tahap desain dan persiapan produksi. Fungsi utama dari *CAD* adalah menjelaskan suatu bentuk dari sebuah struktur menggunakan sistem sketsa dan sistem geometris simulasi. *Software CAD* saat ini sudah cukup beragam mulai dari sistem vektor *2D* hingga sistem *solid-state 3D*, bahkan beberapa *software* menggunakan sistem pemutar sehingga suatu struktur dapat dilihat dari beberapa sudut. Kemampuan *CAD* terdiri dari 4 teknologi dasar yaitu manajemen basis data, komputer grafik, model matematis serta akuisisi data dan Kontrol. Pengaplikasian sistem *CAD* menggunakan 4 teknologi dasar tersebut misalnya menggunakan basis data untuk memanggil data gambar *part standart* suatu produk, lalu menampilkannya dengan kemampuan komputer grafis. Perkembangan teknologi *CAD* sudah cukup pesat sehingga bisa sampai menggunakan sistem *Computer Aided Engineering (CAE)*. Sistem *CAE* adalah gabungan dari beberapa program kompleks yang dapat digunakan untuk menganalisis geometri *CAD* pada pembuatan mode produk dan mempelajari

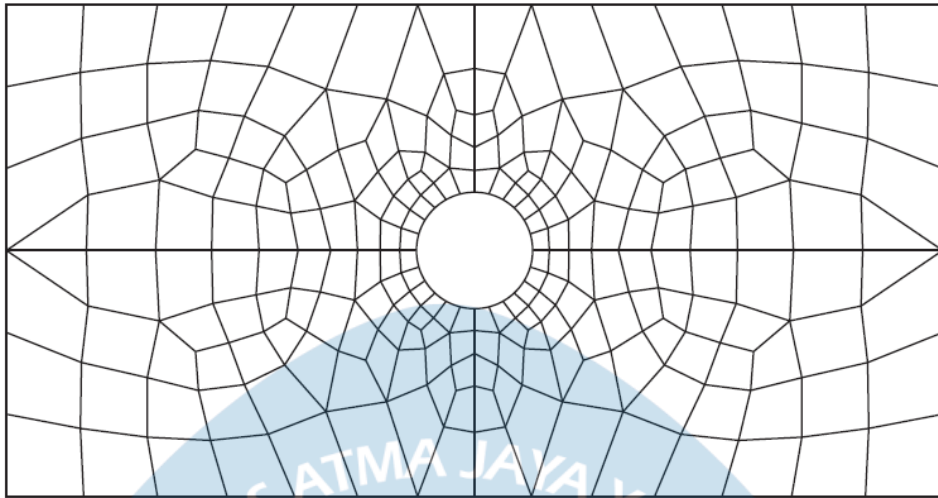
perilaku model pada kondisi real. CAE mencakup perhitungan-perhitungan teknis suatu produk. Beberapa hal yang dapat dilakukan menggunakan CAE adalah analisis komponen menggunakan *Finite Element Method (FEM)*, *thermal and hydrodynamic analysis*, *kinematic research*, dan memodelkan proses dari pembuatan produk.

2.2.3. Finite Element Method

Menurut David V. Hutton dalam bukunya yang berjudul *Fundamental of Finite Element Analysis (2003)*, *Finite Element Method* merupakan teknik komputasi untuk mendapatkan solusi perkiraan masalah nilai batas dalam rekayasa. Sederhananya masalah nilai batas adalah masalah matematika di mana satu atau lebih variabel dependen harus memenuhi persamaan diferensial dalam domain yang diketahui dari variabel independen dan memenuhi kondisi tertentu pada batas domain. Cara kerja dari *Finite Element Analysis* adalah membagi suatu volume benda dalam beberapa *node*. Setiap *node* pada *finite element* memiliki persamaan matematis tersendiri yang bila dihubungkan antar *node* dan membentuk persamaan matematis total benda. Proses analisis menggunakan *Finite Element Method* biasanya sudah dibantu menggunakan *software* CAE, sehingga yang perlu diperhatikan adalah bagaimana langkah-langkah memunculkan hasil *Finite Element Method* pada *software* yang digunakan. Tahap analisis menggunakan *Finite Element Method* adalah sebagai berikut :

- a. Menetapkan geometri domain
- b. Menetapkan elemen sistem
- c. Menetapkan material yang digunakan
- d. Menetapkan geometri dari elemen
- e. Menetapkan hubungan antar elemen (*meshing*)
- f. Menetapkan batasan fisik
- g. Menetapkan gaya yang terjadi

Elemen yang disebutkan pada poin-poin di atas merujuk pada *node* yang sudah ada sedangkan geometri dari elemen merupakan ukuran dari *node* misalnya luas area sebuah *node*. Gambar 2.7. akan menjelaskan tentang proses *meshing* di mana sebuah struktur dibagi menjadi beberapa *node*.



Gambar 2.7. Hasil Meshing 2D

(sumber : David V. Hutton, 2003, *Fundamental of Finite Element Analysis, 1st edition*)

Ada beberapa interpretasi dari gambar 2.7, pertama gambar 2.7 bisa saja menggambarkan sebuah pelat tipis dengan lubang pada bagian tengahnya, atau bisa saja hasil *meshing* menggambarkan aliran benda cair yang melewati sebuah batang silindris. Tipe geometris *element* pada proses *meshing* juga bisa dilihat pada gambar 2.7 di mana bentuk *element* atau *node* dapat berupa segitiga atau segi empat dengan ukuran yang beragam, semakin kecil sebuah *element* maka *Finite Element Method* akan lebih detail menggambarkan perilaku sebuah geometri. Ada dua macam perilaku yang dapat dianalisis menggunakan *Finite Element Method* yaitu perilaku statis dan perilaku dinamis. Perilaku statis berhubungan dengan reaksi geometri akibat gaya statis misalnya tekanan tarikan ataupun bengkokkan sedangkan perilaku dinamis gerakan yang terjadi akibat gaya statis tersebut misalnya getaran dan kelelahan material.

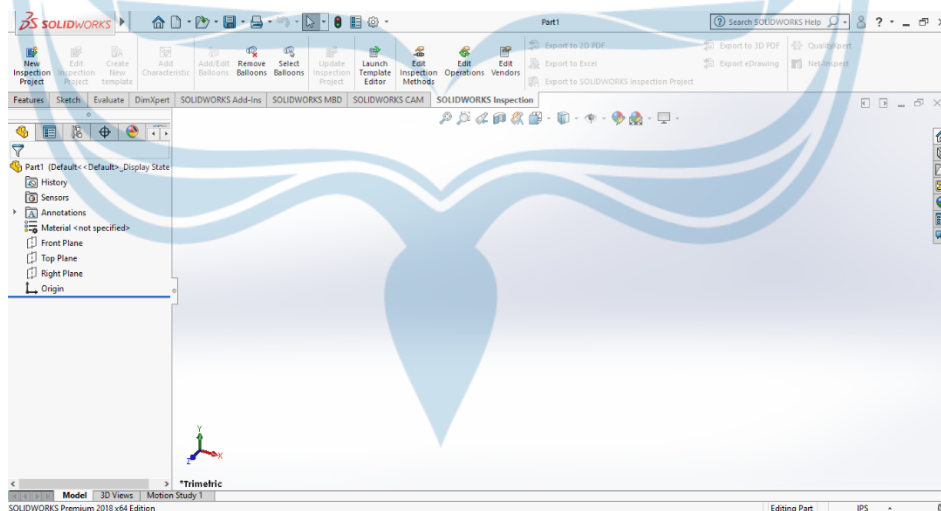
2.2.4. SOLIDWORK 2018

Perkembangan dari *software CAD* sudah sangat kompleks pada saat ini mulai dari awalnya hanya bisa menggambar dalam bentuk *wireframe* hingga saat ini bisa sampai pada *3D solid*. Salah satu *software CAD* yang bisa digunakan saat ini adalah *SOLIDWORK 2018*. *Software SOLIDWORK Mechanical Automation Design* seri 2018 menurut buku "*SOLIDWORK Essentials*" merupakan sebuah *software* yang berbasis pada fitur *parametric solid modelling* dan memanfaatkan kemudahan *window's graphical interface*. Secara garis besar dengan

menggunakan *software SOLIDWORK 2018* maka *engineer* bisa lebih mudah membuat gambar karena *software* ini menggunakan sistem *Feature Based*. *Feature based* adalah sebuah sistem yang membagi suatu produk ke dalam beberapa elemen layaknya sebuah rakitan dibagi ke dalam beberapa *part*. Elemen-elemen inilah yang disebut *feature*. *SOLIDWORK 2018* sudah memberikan beberapa batuan untuk membuat *feature* seperti *bosses, cut, ribs, hole, fillet, chamfer, dan draft*. *Feature* pada *SOLIDWORK 2018* dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu :

- a. *Sketched Feature*: *feature* yang berdasar pada gambar 2D, dengan menggunakan *feature* ini gambar 2D dapat diubah menjadi gambar 3D menggunakan perintah *ekstrude, rotate, sweep, atau loft*.
- b. *Applied feature*: *feature* yang digunakan ketika gambar 3D sudah ada sebelumnya. Beberapa *feature* bisa ditambahkan ketika sudah ada solid 3D contohnya adalah *fillet dan chamfer*.

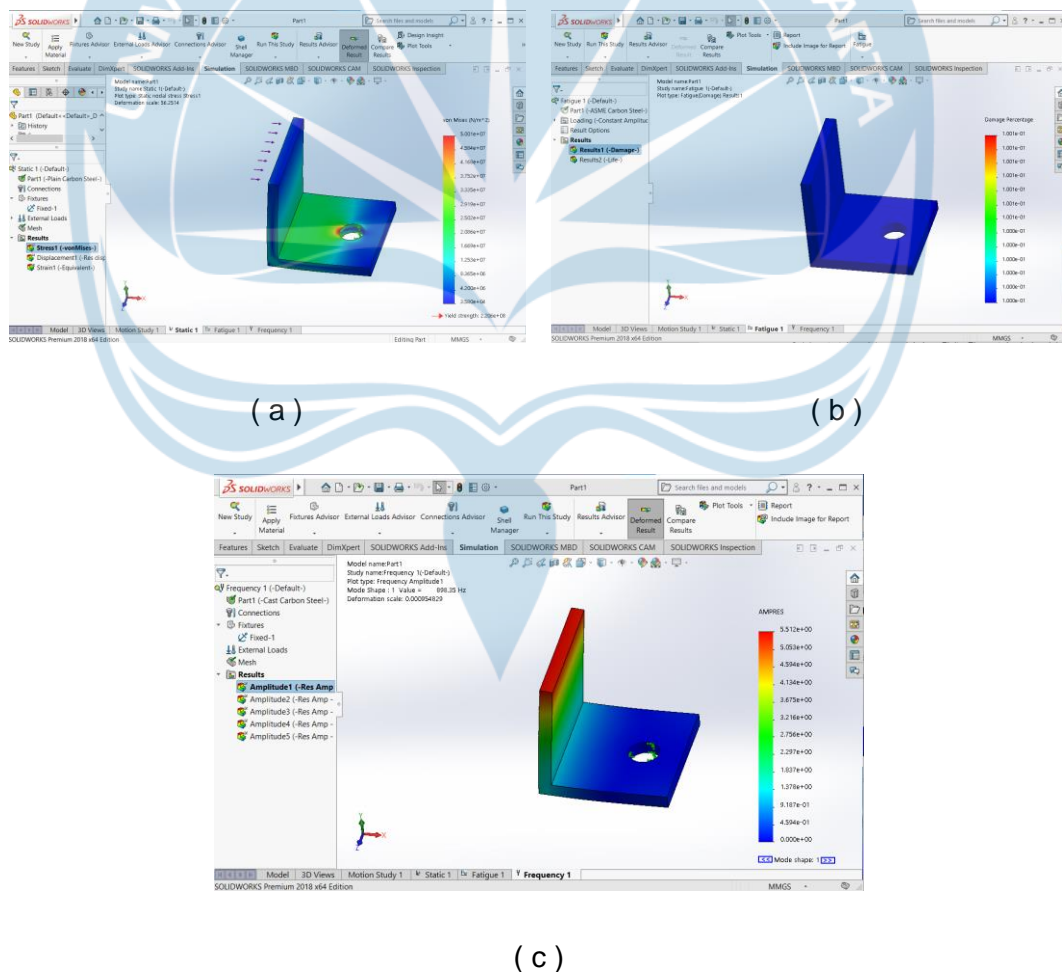
Fitur-fitur yang digunakan pada desain *SOLIDWORK 2018* akan ditampilkan pada jendela khusus yaitu *design tree*. Tampilan *interface software SOLIDWORK 2018* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Interface SOLIDWORK 2018.

Kemudahan lain yang diberikan oleh *SOLIDWORK 2018* adalah sistem *dimension and relation*. *Dimension* menunjukkan ukuran dari sebuah geometri desain, contoh sederhana dari *dimension* adalah Panjang, lebar, dan tebal suatu gambar, sedangkan *relation* menunjukkan hubungan antar *feature* yang ada, contoh sederhana dari *relation* adalah sifat tegak lurus, sejajar, menyinggung, dan

sebagainya. *SOLIDWORK 2018* selalu menyimpan data yang berhubungan dengan *dimension dan relation* yang ada pada desain yang dibuat. Hal ini memudahkan *engineer* untuk melakukan edit bila terjadi perubahan *dimension* ataupun *relation*. *software SOLIDWORK 2018* juga menunjang desain assembly di mana ketika gambar *part* sudah jadi proses gambar *assembly* dapat dilakukan dengan cara memasukkan data *part* yang sudah dibuat ke dalam gambar *assembly* lalu memberikan *relation* antar *part* sehingga membentuk suatu *assembly*. *Software SOLIDWORK 2018* juga bisa melakukan *Finite Element Analysis*. FEA pada *software SOLIDWORK 2018* dilakukan dalam menu *Simulation*. Beberapa contoh simulasi yang dapat dilakukan oleh *software* ini diantaranya simulasi gaya statik, *dynamic Simulation*, *frequency simulation*, dan lain-lain. Gambar 2.9. berikut menunjukan beberapa contoh hasil simulasi FEA *Software SOLIDWORK 2018*



Gambar 2.9. Contoh Simulasi FEA SOLIDWORK 2018 (a) Static Simulation, (b) Fatigue Simulation, (c) Frequency Simulation.

2.2.5 Material

Salah satu tahap dalam melakukan *Finite Element Analysis* adalah menentukan material yang ada pada suatu produk, maka dari itu untuk melakukan FEA pada mesin *spinner* material penyusun mesin *spinner* harus diketahui karakteristiknya. Menurut Suryanti, (2018) material yang digunakan untuk bagian poros menggunakan material St.37, sedangkan pada bagian tabung luar material yang digunakan adalah *Aluminium*. Mesin *spinner* yang ada pada UKM Putri 21 mempunyai rangka pada bagian luarnya, rangka tersebut menggunakan material *cast Carbon steel* (structural steel). Bagian ini akan menjelaskan dari setiap material yang akan dipakai

a. St. 37 metal

Besi atau metal dengan *grade* st. 37 merupakan sebuah logam campuran antara besi (*Fe*) dan karbon (*C*) dengan komposisi besi lebih banyak dari pada karbon (A Jannifar et all, 2018). Kandungan logam yang berada pada St. 37 adalah : C 0.12%, Si 0.10%, Mn 0.50%, P 0.04%, Al 0.02% dan Cu 0.10%, logam St. 37 ini mampu menghasilkan kekuatan Tarik hingga 37 kg/mm. St 37 merupakan salah satu logam yang umum digunakan untuk membuat mesin karena memiliki harga yang murah dan masa pakai yang cukup lama, tetapi St. 37 tidak terlalu tahan dengan karat sehingga perlu dilakukan proses lanjutan untuk menahan karat pada logam ini.

b. Cast Carbon Steel (Structural steel)

brighthubengineering.com menjelaskan *Structural steel* merupakan sebuah logam campuran antara besi, karbon dan *manganese*. Logam ini telah banyak beredar dan digunakan untuk membuat sebuah konstruksi. *Structural steel* memiliki nilai *strength* dan *ductility* yang tinggi, tetapi logam ini masih dijual dengan harga yang cukup terjangkau. Ada berbagai macam bentuk dari *structural steel* ini mulai dari bentuk batang (*beam*), Pelat tipis (*Plate*), hingga membentuk suatu profil seperti profil U dan profil L.

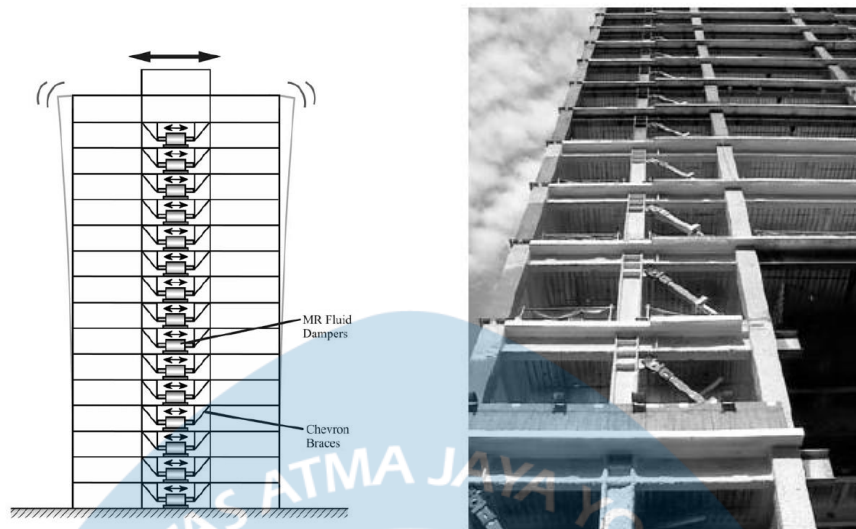
c. Aluminium

Aluminium merupakan sebuah logam yang paling banyak ditemukan di seluruh dunia menurut UC Rusal pada *website* https://www.aluminiumleader.com/about_aluminium/what_is_aluminum/. aluminium juga disebut sebagai logam yang paling ringan tetapi kuat. Berat logam ini bisa hanya sepertiga dari berat besi. Hal ini membuat aluminium banyak dimanfaatkan pada berbagai industri.

Beberapa keunggulan yang sering dimanfaatkan dari aluminium adalah, sifat ringan, *durable*, *ductile*, dan anti karat. Logam ini dapat diolah dengan mudah pada suhu tinggi maupun rendah sehingga saat ini banyak sekali bahan campuran aluminium (*Aluminium Alloys*) yang bisa digunakan.

2.2.6 Getaran Mekanik

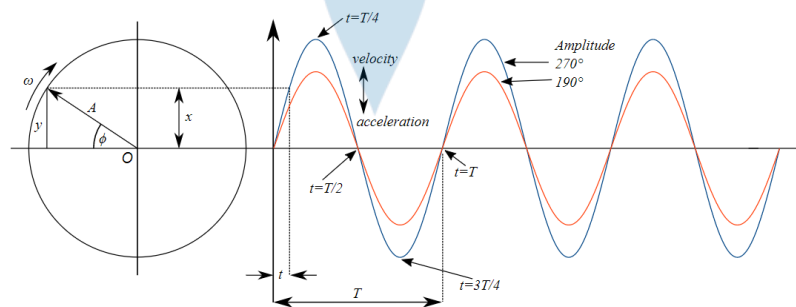
Robert F. Steidel (1980) mendefinisikan getaran sebagai gerakan osilasi (bergoyang) yang memiliki sifat periodik. Haym Benayora (2009) memfokuskan definisi getaran menjadi respons dinamis yang berasal dari suatu sistem baik berupa mesin, struktur, dan sebagainya. Kedua penelitian tersebut memiliki suatu kesamaan yaitu menganalisis suatu getaran pada sistem menggunakan analisis secara dinamis. Analisis mekanis suatu sistem itu dibagi menjadi 2 yaitu analisis *static* dan analisis *dynamics*, sedangkan analisis *dynamics* suatu sistem juga bisa dibagi menjadi dua yaitu *kinematic* dan *kinetic*. *Kinematic* adalah analisis gaya dinamis tanpa perlu memperhatikan gaya yang menyebabkan Gerakan tersebut terjadi, atau biasa disebut *geometry of motion*. Fokus utama dari analisis *kinematic* adalah *interrelation of displacement* (pergeseran), *velocity* (kecepatan), *Acceleration* (Percepatan), dan *time* (Waktu). Analisis *Kinetic* sedikit berbeda dengan *Kinematic* yaitu cabang analisis *dynamics* yang mempelajari hubungan antara Gerakan dengan gaya yang menyebabkan Gerakan itu terjadi. Dasar dari analisis *Kinetic* sebuah sistem adalah hukum Newton, dimana hukum Newton II menjadi hukum fundamental dalam *classical dynamic*. Getaran (*Vibration*) merupakan suatu kasus analisis gaya yang mencakup kedua cabang analisis *dynamics*. Penelitian tentang analisis getaran memang sudah banyak dilakukan dalam berbagai macam hal terutama pada sistem-sistem yang bekerja pada kondisi ekstrem atau mesin-mesin yang memang perlu bekerja dalam kondisi yang menyebabkan getaran. Getaran terkadang membuat sebuah sistem memberikan *response amplitude* yang dapat merugikan lingkungan sekitar sehingga diperlukannya sebuah cara untuk mengontrol besarnya *response* mesin agar selalu terkendali. Cara yang dapat dilakukan untuk memperbaiki mesin yang memiliki *response* buruk terhadap getaran adalah dengan cara redesain struktur dengan ukuran, massa, atau *stiffness* yang baru. Cara lain yang dapat dilakukan adalah memberikan sistem sebuah gaya luar yang dapat menahan gaya akibat getaran sehingga *resultan displacement* yang terjadi dapat berkurang. Gambar 2.10 berikut ini menunjukkan beberapa contoh perbaikan sistem yang lebih optimal dalam getaran dengan cara redesain struktur.



Gambar 2.10. Pemberian Struktur Damper pada Gedung Tinggi untuk Menahan Getaran

(sumber : Haym Benaroya, 2009, *Mechanical Vibration- analysis, uncertainties, and control, 3th edition*)

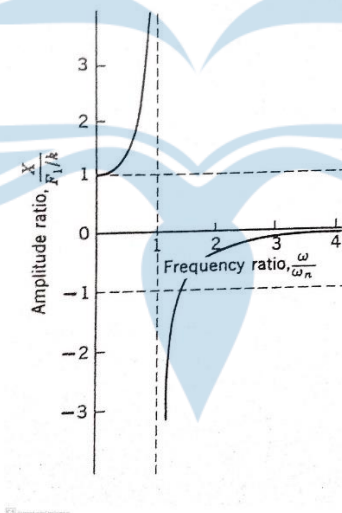
Penyelesaian permasalahan getaran harus dimulai dengan analisis gaya yang terjadi di dalam sistem yang menerima getaran. Beberapa buku seperti yang ditulis oleh Haym Benaroya (2009) dan Robert F Steidel (1980) sepakat bahwa gaya yang terjadi dalam sistem getaran biasanya membentuk sebuah *Harmonic Motion* yang memiliki sifat Periodik sehingga persamaan-persamaan dalam *Harmonic Motion* dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan getaran. Gambar 2.11. menunjukkan *vector diagram* dari *Harmonic Motion*.



Gambar 2.11. Vector Diagram dari Harmonic Motion

(sumber :David Boettcher, <https://www.vintagewatchstraps.com/shm.php#top>, diakses tanggal 18 April 2021)

Harmonic Motion biasanya digambarkan dalam suatu periode satuan waktu (sekon), akan tetapi terkadang *Harmonic Motion* juga bisa digambarkan dalam suatu periode *frequency* (Hz). Pemahaman ini berhasil memunculkan suatu parameter penting dalam permasalahan getaran yaitu *Natural Frequency*. *Natural Frequency* adalah sebuah parameter yang menunjukkan pada frekuensi berapa suatu sistem akan mengalami resonansi dengan getaran yang ada. Nilai *Natural Frequency* ini sangat penting karena menurut Robert F Steidel (1980) variasi gaya harmonis yang diberikan kepada sistem memberikan dampak variasi pergeseran (*displacement*) yang harmonis pula. Hal ini berhubungan dengan *Amplitude* yang terjadi pada sistem. Ketika bergetar, Ketika frekuensi yang mempengaruhi sistem lebih kecil daripada *Natural Frequency* ($\omega < \omega_n$) maka *Amplitude* yang terjadi menyebabkan defleksi sistem sebesar gaya yang mempengaruhi dan apabila frekuensi yang terjadi lebih besar daripada *Natural Frequency* ($\omega > \omega_n$) maka Gerakan kecil akan terjadi dan Gerakan tersebut akan semakin mengecil saat *Frequency Ratio* meningkat, tetapi jika nilai *Natural Frequency* sama dengan frekuensi kerja ($\omega = \omega_n$) maka *amplitude* yang dialami sistem menjadi tak hingga walaupun gaya yang terjadi amatlah kecil. Gambar 2.12 berikut menunjukan grafik yang menjelaskan kejadian ini



Gambar 2.12. Grafik *Amplitude* terhadap *Frequency Ratio*

(sumber : Robert F Steidel, 1980, An Introductory to Mechanical Vibration, 2nd edition)

Haym Benayora (2009) juga mengungkapkan bahwa *dynamic Behavior* merupakan hasil dari pertukaran dan penghilangan energi pada suatu sistem, maka dari itu dalam analisis *dynamic* dikenal beberapa istilah seperti *Inertia*, *Stiffness*, dan *Damping*. Ketiga istilah ini cukup penting dalam analisis *dynamic* karena bisa diatur agar hasil redesain sistem bisa sesuai dengan keinginan. *Inertia* adalah kemampuan sebuah objek untuk bertahan pada posisi geraknya dari pengaruh gaya luar yang bekerja. Konsep *Inertia* ini telah dijelaskan dalam hukum I newton. *Stiffness* adalah suatu kemampuan suatu sistem untuk menyimpan *strain energy*. Salah satu contoh penggunaan *Stiffness* dalam sebuah sistem adalah adanya pegas. Terakhir *damping* merupakan kemampuan sebuah objek untuk menghilangkan sebuah energi, pada suatu sistem dan mengubahnya menjadi energi panas atau gesekan. Robert F. Steidel (1980) menambahkan bahwa mekanisme dari *Damping* dapat berbentuk berbagai macam. Salah satu contohnya adalah *Material Damping*, yaitu pengurangan energi yang terjadi karena deformasi dalam medium material. Nilai sebuah material *damping* dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Nilai Damping Ratio

Material	Damping Ratio
<i>Shock Absorber</i>	0,1-0,5
<i>Rubber</i>	0,04
<i>Riveted Steel Structure</i>	0,03
<i>Congcrete</i>	0,02
<i>Wood</i>	0,003
<i>Cold Rolled steel</i>	0,0006
<i>Cold Rolled Aluminium</i>	0,0002
<i>Phospor Bronze</i>	0,00007

(sumber : Robert F Steidel, 1980, *An Introductory to Mechanical Vibration*, 2nd edition)

Damping pada sebuah sistem dapat mempengaruhi bentuk dari *Harmonic Response* dari suatu mesin. Gambar 2.12 juga bisa digunakan untuk menjelaskan pengaruh *damping* pada sistem. Resonansi terjadi Ketika perbandingan *natural frequency = frequency kerja*, lalu saat frekuensi kerja bertambah dan sistem keluar dari kondisi Resonansi maka *damping* sebuah sistem dapat membuat

energi yang dimiliki mulai berkurang sehingga terbentuk grafik seperti gambar 2.12 pada bagian *Frequency Ratio* 1 sampai dengan 3. Bagian ini biasanya disebut dengan *Transient Vibration* di mana beberapa bagian dari gerakan akan berkurang seiring berjalannya waktu. Bagian *Frequency Ratio* lebih dari 4 merupakan bagian di mana fase *Transient* sudah selesai dan semua energi yang dikeluarkan oleh damping sehingga tercapai keseimbangan (hukum newton I). bagian ini biasa disebut *Steady State Vibration*.

