

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Perancangan/desain merupakan permasalahan yang sudah banyak dilakukan oleh penelitian-penelitian terdahulu. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan di tempat yang berbeda-beda dengan menggunakan metode yang juga berbeda satu dengan yang lain. Berikut ini merupakan penelitian-penelitian mengenai perancangan/desain yang sudah pernah dilakukan.

Rosita dan Prihantoro (2019) melakukan rancangan desain rak di rumah sakit Islam Umum Assalam Gemolong. Hidayako dan Betanursanti (2017) melakukan penelitian untuk mendesain rak di PT. Bank Rakyat Indonesia cabang Gombong. Chandra dkk (2019) melakukan perancangan lemari. Dewi dan Muthmainnah (2020) melakukan penelitian di rumah sakit Putri Hijau. Haryanto dan Gunadi (2019) melakukan perancangan desain rak buku. Kurniawati dkk (2017) merancang desain rak di Rehan Bakery. Wibawa dkk (2021) melakukan perancangan rak roket portable disertai dengan simulasi numerik kekuatan rak menggunakan metode elemen hingga. Nendra (2019) melakukan rancangan desain rak perkakas yang dilanjutkan dengan analisis kekuatan rak.

Penelitian-penelitian terdahulu dibuat atas dasar tujuan yang berbeda-beda satu dengan yang lainnya. Rosita dan Prihantoro (2019) melakukan perancangan rak dengan tujuan memudahkan tenaga medis dalam menyimpan dokumen rekam medis selain itu rak yang dirancang disesuaikan dengan antropometri pengguna dengan tujuan memudahkan tenaga medis dalam menggunakan rak tersebut. Hidayako dan Betanursanti (2017) merancang rak arsip yang dapat mempermudah pekerja dalam menyimpan dan mencari arsip. Chandra dkk (2019) merancang rak multifungsi yang dapat mempermudah penyimpanan barang-barang pribadi. Dewi dan Muthmainnah (2020) bertujuan memudahkan tenaga medis dalam mencari berkas rekam medis sehingga dapat membantu proses pengambilan dan pendistribusian rekam medis. Haryanto dan Gunadi (2019) merancang desain rak buku yang dinilai lebih sederhana, ringan, dan bercita rasa kontemporer. Kurniawati dkk (2017) bertujuan mendesain rak yang dapat mengatasi keluhan pekerja. Wibawa dkk (2021) melakukan analisis numerik kekuatan rak untuk mengetahui kemampuan rak dalam menahan beban. Nendra (2019) melakukan pengujian elemen hingga pada lemari perkakas untuk

memperoleh nilai beban maksimum yang dapat diberikan terhadap desain rak yang dibuat.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terdapat perbedaan metode antara penelitian yang satu dengan penelitian yang lain. Rosita dan Prihantoro (2019) dalam penelitiannya menerapkan metode *cross sectional* yang kemudian disesuaikan dengan antropometri penggunaannya. Hidayako dan Betanursanti (2017) menggunakan metode *quality function development* dan metode *house of quality* di dalam penelitiannya. Chandra dkk (2019) menerapkan metode *2 style*, yaitu *style* minimalis dan *style scandinavian*. Dewi dan Muthmainnah (2020) menggunakan metode deskriptif kuantitatif dalam mendesain rak. Haryanto dan Gunadi (2019) menerapkan pendekatan *research and development* dalam penelitiannya. Kurniawati dkk (2017) menggunakan metode *quality function development* dalam perancangan desain rak. Wibawa dkk (2021) menggunakan metode elemen hingga untuk mengetahui kekuatan rak. Nendra (2019) melakukan analisis numerik kerangka rak menggunakan metode elemen hingga untuk memperoleh nilai beban maksimum pada desain rak yang dibuat.

Penelitian Wibawa (2019) melakukan simulasi *finite element* terhadap desain rangka lemari yang dibuat dari aluminium 3003-H12. Simulasi dilakukan dengan melakukan tiga pengujian yaitu tegangan *von-mises*, *displacement*, dan *safety factor*. Desain rangka lemari diuji dengan melakukan beberapa pembebanan terhadap tiap tingkat lemari yang dimulai dengan beban 40kg, 45kg, 50kg, dan 55kg, hasil yang diperoleh dalam penelitian Wibawa (2019) adalah desain lemari yang terbuat dari aluminium 3003-H12 mampu menahan beban pada setiap tingkatnya hingga 55kg karena nilai dari *safety factortor* yang berada di angka 2,04.

Zhou (2020) melakukan pengujian analisis numerik terhadap rak penyimpanan. Desain rak dibuat menggunakan material Q235-*steel* yang memiliki nilai modulus elastik 200GPa, analisis kekuatan rak dilakukan menggunakan metode *finite element*. Hasil analisis diperoleh bahwa nilai tegangan maksimum yang 23,361 MPa dan diperoleh kesimpulan penggunaan material yang tepat karena material yang dipilih memiliki nilai tegangan maksimum 235 MPa.

Penelitian Wibawa dkk (2021) melakukan simulasi kekuatan desain rangka rak menggunakan metode *finite element*. Desain rak dibuat memiliki lima tingkatan untuk menempatkan beban, simulasi dilakukan dengan tiga pengujian yaitu *von-*

mises, *displacement*, dan *safety factor*. Proses pengujian disertai dengan beberapa tingkatan pembebanan yang dimulai dengan 150kg, 175kg, 200kg, dan 225kg pada setiap tingkatan rak. Hasil yang didapatkan melalui penelitian Wibawa dkk (2021) menunjukkan nilai tegangan *von-mises* untuk variasi beban 150kg, 175kg, 200kg, dan 225kg berturut-turut adalah 96,41 MPa, 112,5 MPa, 128,54 MPa, dan 144,6 MPa. Penelitian Wibawa (2021) mendapatkan kesimpulan desain rak yang dibuat mampu menahan beban pada tiap tingkatnya sampai 200kg karena memperoleh nilai *safety factor* lebih dari 2.

Penelitian Kozkurt dkk (2020) melakukan pengujian terhadap desain rak penyimpanan untuk gudang yang dibuat dengan material besi galvanis. Desain rak dibuat untuk menahan beban sampai dengan 800kg-1000kg. Pengujian yang dilakukan meliputi *total deformations*, *equivalent stresses*, dan *principal stresses* yang dilakukan menggunakan metode *finite element*. Hasil yang diperoleh untuk *total deformations* menghasilkan nilai 4,3mm, *equivalent stresses* dengan nilai 180 MPa, dan *Principal stresses* dengan nilai 356 MPa.

Kumar (2019) melakukan penelitian rak besi dengan tujuan pengoptimalan dan analisis kekuatan rak. Bahan yang digunakan sebagai material pembuatan rak adalah *cold formed steel*, dalam penelitiannya metode yang digunakan adalah *finite element* yang digunakan untuk menguji model sekaligus kekuatan struktur rak sehingga dapat memperoleh bentuk desain rak yang optimal untuk digunakan.

Dalam melakukan perancangan dengan metode rasional seperti yang sudah dilakukan oleh Anwar dkk (2017), Lestari dkk (2016), Mubarokah dkk (2017), dan Indrawan (2016), terdapat beberapa tahapan yang dilakukan. Tahap pertama adalah *clarifying objectives*, dalam tahap ini dilakukan penentuan tujuan perancangan yang dilakukan. Tahap kedua adalah *establishing function*, dalam tahap ini dilakukan pembuatan *black box* untuk menetapkan fungsi-fungsi yang akan dilakukan. Tahap ketiga adalah *setting requirements*, dalam tahap ini dilakukan proses penetapan kebutuhan untuk spesifikasi perancangan. Tahap keempat adalah *determining characteristics*, dalam tahap ini proses definisi atribut rancangan ke karakteristik Teknik. Tahap kelima adalah *generating alternatives*, dalam tahap ini dilakukan pembangkitan solusi-solusi alternatif yang memungkinkan. Tahap keenam adalah *evaluating alternatives*, dalam tahap ini dilakukan pemilihan alternatif terbaik.

Penelitian saat ini dilakukan di PT. Nusantara Usaha Sentosa Abadi, yang terletak di Jalan Cebongan No 310, Area Sawah, Sidomoyo, Kec. Godean, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang desain rak yang dapat digunakan perusahaan untuk menyimpan barang-barang di gudang, sehingga perusahaan dapat mengatur kondisi gudang agar lebih tertata dengan baik karena sampai saat ini PT. Nusantara Usaha Sentosa Abadi belum memiliki rak penyimpanan, dan juga memaksimalkan kapasitas penyimpanan barang di gudang.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pengertian Gudang

Warman (2012) mendefinisikan gudang sebagai suatu bangunan yang dimanfaatkan untuk melakukan penyimpanan barang baik itu barang jadi, barang setengah jadi, dan bahan baku. Menurut Meyers dan Stephens (2000), gudang merupakan tempat yang digunakan untuk menyimpan bahan baku dan komponen pendukung lainnya. Purnomo (2004) menjabarkan 5 jenis gudang, diantaranya:

- a. Gudang bahan baku
- b. Gudang komponen
- c. Gudang barang jadi
- d. Gudang pemasok kantor
- e. Gudang *tools*

Berdasarkan aktivitas di dalam gudang, Purnomo (2004) menjabarkan tiga aktivitas utama di dalam pergudangan, yaitu:

a. Perpindahan (*movement*)

Aktivitas yang memiliki tujuan utama menjaga perputaran barang dan memastikan proses perpindahan barang dari gudang, rantai produksi, hingga proses pendistribusian konsumen. Aktivitas ini dibagi menjadi beberapa aktivitas diantaranya *receiving*, *customer order picking*, *packing*, dan proses lainnya.

b. Penyimpanan (*storage*)

Aktivitas penyimpanan barang yang diterima baik itu bahan baku maupun barang jadi.

c. Pertukaran informasi (*transfer information*)

Merupakan proses pemberian dan penerimaan informasi baik itu untuk bagian gudang maupun bagian lain di dalam perusahaan.

2.2.2. Fungsi Gudang

Dalam penggunaan fungsi gudang, Tompkins dkk (2003) menjabarkan beberapa fungsi gudang, yaitu:

a. *Proses Receiving*

Merupakan kegiatan menerima barang dan komponen-komponen pendukung lainnya yang selanjutnya akan disimpan di dalam gudang.

b. *Inspection*

Merupakan proses pemeriksaan barang yang telah diterima, baik dari segi kualitas dan jumlah.

c. *Repacking*

Merupakan kegiatan memecah suatu barang atau komponen yang telah diterima dalam jumlah besar menjadi bagian-bagian kecil, juga dapat dilakukan penggabungan komponen yang berbeda.

d. *Putaway*

Kegiatan yang dilakukan saat akan memindahkan barang dari suatu tempat ke tempat lainnya.

e. *Storage*

Merupakan tempat sementara dimana barang akan menunggu untuk diambil.

f. *Order Picking*

Kegiatan pengambilan barang di tempat penyimpanan berdasarkan permintaan yang diterima.

g. *Postponement*

Merupakan kegiatan yang dapat dilakukan setelah pengambilan barang, pengemasan barang agar mempermudah pemakaian.

h. *Sortation*

Kegiatan mengelompokkan barang yang telah disesuaikan dengan pesanan yang diterima.

i. *Packing and Shipping*

Kegiatan pengepakan barang dan pengecekan berdasarkan distribusi yang sesuai.

j. *Cross-docking*

Kegiatan pemindahan barang yang baru saja diterima ke lokasi pengiriman tanpa dilakukannya penyimpanan sementara.

k. *Replenishing*

Aktivitas pengisian barang ke lokasi yang sudah kosong.

2.2.3. Kajian Fasilitas Kerja

Dalam mencapai suatu tujuan, sebuah perusahaan akan membutuhkan adanya sarana pendukung yang dapat digunakan untuk memudahkan kegiatan sehari-hari. Sarana tersebut dapat berupa fasilitas yang berupa alat dengan berbagai bentuk, ukuran, dan jenisnya yang telah disesuaikan dengan masing-masing kebutuhan. Menurut Lupiyaodi (2006), fasilitas kerja merupakan alat yang digunakan untuk memperlancar pelaksanaan fungsi. Menurut Buchari (2001), fasilitas kerja merupakan perlengkapan berbentuk fisik yang dapat memudahkan penggunaannya, sehingga kebutuhan akan pemakaian fasilitas tersebut bisa terpenuhi. Menurut Supranto (2009), fasilitas kerja merupakan sarana-sarana berbentuk fisik yang dijadikan pendukung dalam melakukan aktivitas di perusahaan, memiliki umur pemakaian, dan dapat memberikan keuntungan di masa yang akan datang.

Hartanto mengemukakan karakteristik fasilitas yang digunakan dalam aktivitas di perusahaan, yaitu:

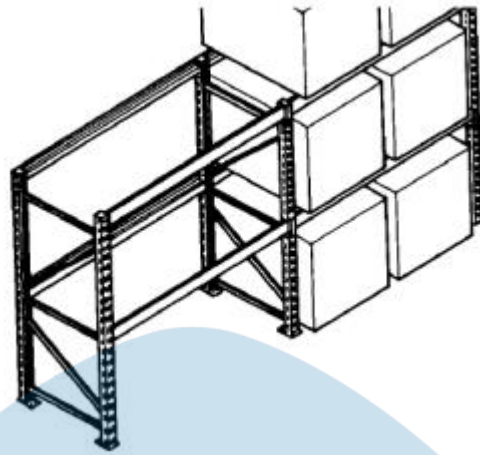
- a. Memiliki bentuk fisik.
- b. Digunakan dengan aktif dalam aktivitas perusahaan sehari-hari.
- c. Memiliki jangka waktu penggunaan.
- d. Memberikan manfaat di masa depan.

2.2.4. Jenis-Jenis Rak

Rak merupakan salah satu fasilitas yang sangat penting di dalam gudang. Dalam penggunaannya rak dapat digunakan sebagai tempat menyimpan dan mengatur barang dengan tertatur serta dapat menjaga kualitas barang yang disimpan. Berikut ini merupakan beberapa jenis rak yang terdapat di dalam gudang, diantaranya:

a. Selective Pallet Racking

Adalah salah satu jenis rak yang umum digunakan dalam gudang, rak jenis ini cocok diterapkan untuk penyimpanan barang yang sudah dikemas dan memiliki ukuran besar. Rak jenis ini cocok untuk menyimpan barang-barang di gudang yang memiliki ukuran dan berat pallet berbeda-beda. Gambar 2.1. menunjukkan ilustrasi *selective pallet racking*.



GAMBAR 2.1. Ilustrasi *Selective Pallet Racking*

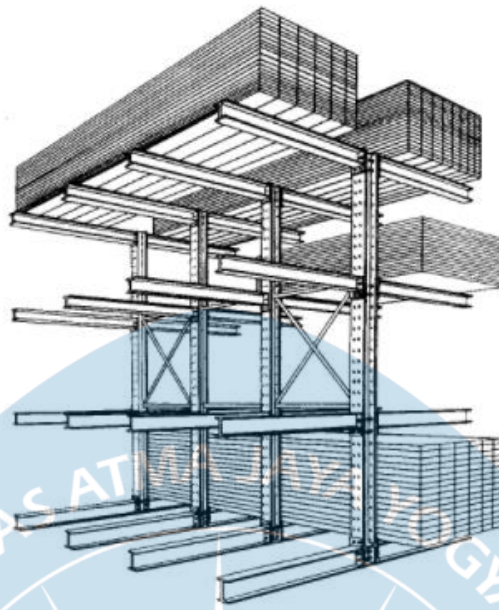
(Sumber: www.ise.ncsu.edu)

b. Double Deep Racking

Adalah jenis rak yang memiliki kapasitas penyimpanan lebih besar dari *selective pallet racking*, hal ini disebabkan penyusunan rak dirancang agar dapat menyimpan dua kali standar *selective pallet racking*. Rak jenis ini biasa digunakan untuk perusahaan yang menerapkan sistem *last in first out*.

c. Cantilever rack

Jenis rak ini dirancang untuk perusahaan yang memproduksi barang-barang berukuran panjang seperti kayu dan barang yang memiliki ukuran panjang dan proporsional. Rak ini akan disesuaikan dengan jenis dan ukuran barang yang disimpan sehingga tidak menyulitkan saat akan digunakan. Gambar 2.2. menunjukkan ilustrasi *cantilever rack*.

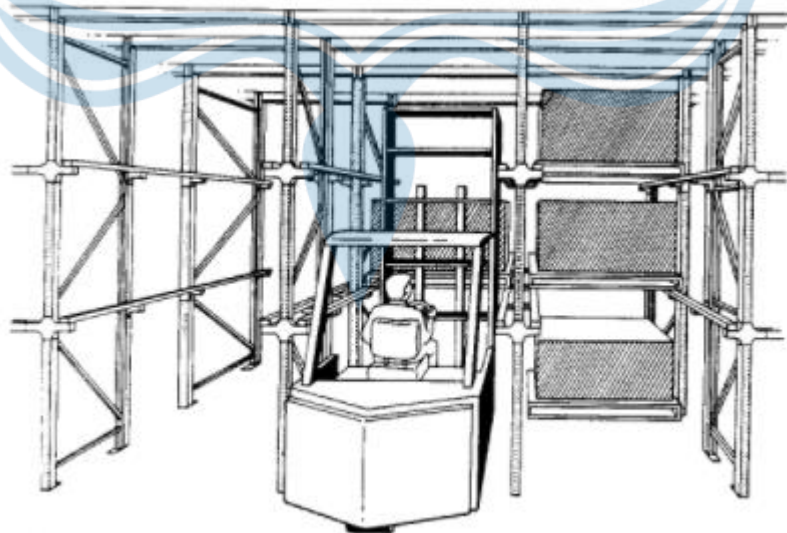


GAMBAR 2.2. Ilustrasi *Cantilever Rack*

(Sumber: www.ise.ncsu.edu)

d. *Drive-thru rack*

Merupakan jenis rak yang mempunyai pintu masuk dan keluar, jenis rak ini cocok digunakan oleh perusahaan yang menerapkan sistem *first in first out*. Gambar 2.3. menunjukkan ilustrasi *drive-thru rack*.

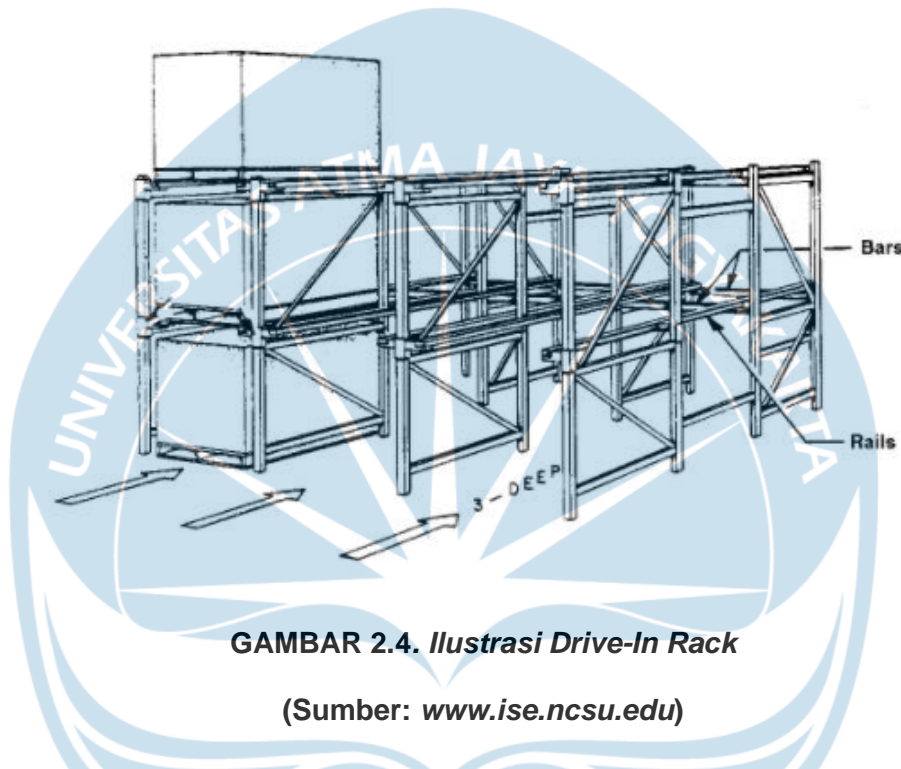


GAMBAR 2.3. Ilustrasi *Drive-Thru Rack*

(Sumber: www.ise.ncsu.edu)

e. *Drive-in rack*

Merupakan lanjutan dari jenis rak *double deep*, dimana jenis rak ini memiliki akses jalan yang dapat digunakan *forklift* untuk menyimpan maupun mengambil barang. Jenis rak ini hanya memiliki satu jalur akses sebagai jalan masuk dan keluar sehingga akan membutuhkan waktu untuk menyimpan ataupun mengambil barang. Gambar 2.4. menunjukkan ilustrasi *drive-in rack*.



GAMBAR 2.4. Ilustrasi Drive-In Rack

(Sumber: www.ise.ncsu.edu)

2.2.5. Quality Function Development (QFD)

Menurut Ariani (2002), QFD merupakan suatu metode perencanaan dan pengembangan yang terstruktur dan memungkinkan kelompok untuk dapat mendefinisikan kebutuhan dan harapan konsumen yang selanjutnya mengevaluasi kemampuan suatu produk atau jasa dengan sistematis dalam memenuhi suatu kebutuhan. Menurut Subagyo (2004), QFD merupakan sebuah cara dalam meningkatkan kualitas barang dan jasa melalui pemahaman kebutuhan konsumen, kemudian menghubungkannya dengan teknis dengan tujuan menghasilkan barang atau jasa pada setiap proses pembuatan. Rampersad (2006) menyatakan bahwa QFD merupakan metode yang dipakai dalam memperbaiki pemahaman mengenai konsumen sekaligus mengembangkan suatu produk atau jasa yang berorientasi terhadap konsumen.

Ada beberapa manfaat yang dapat diperoleh perusahaan dengan menerapkan metode QFD, yaitu:

- a. Mengurangi *cost*, hal ini karena produk atau jasa yang dihasilkan telah disesuaikan dengan kebutuhan, keinginan, dan harapan konsumen sehingga tidak ada pengulangan kerja yang harus dilakukan.
- b. Meningkatkan pendapatan, dengan tidak adanya pengulangan kerja, barang dan jasa yang dihasilkan akan mampu memenuhi kebutuhan dan keinginan konsumen.
- c. Mengurangi waktu produksi, menurut Ariani (2002) QFD menyebabkan kelompok pengembang barang atau jasa agar lebih berfokus terhadap program pengembangan kebutuhan.

Dalam menerapkan metode QFD, terdapat beberapa tahapan yang telah dijabarkan Subagyo (2004), yaitu:

- a. Proses identifikasi kebutuhan dan keinginan pelanggan.
- b. Mendalami teknis-teknis dalam mengembangkan barang dan jasa.
- c. Memperhatikan hubungan harapan pelanggan dan ketentuan teknis.
- d. Perbandingan kinerja perusahaan dengan kompetitor.
- e. Evaluasi pendapat pelanggan mengenai barang atau jasa yang dihasilkan.
- f. *Trade off* dalam memberikan penilaian pengaruh aktifitas-aktifitas yang dijalankan.

2.2.6. Metode Rasional

Metode rasional merupakan metode pendekatan tersistem, metode rasional memiliki fungsi untuk memaksimalkan kualitas dalam melakukan perancangan. Cross (1994) menjabarkan beberapa tahapan dalam menerapkan metode rasional, diantaranya:

- a. Klarifikasi tujuan (*clarifying objectives*)

Dalam tahap ini dilakukan penentuan tujuan-tujuan yang ingin dicapai dalam melakukan perancangan. Dengan adanya tujuan yang jelas diharapkan proses perancangan dapat lebih terarah, hasil yang didapatkan dari tahap ini adalah pohon tujuan.

- b. Penentuan fungsi (*establishing requirements*)

Dalam tahap ini dilakukan penentuan fungsi utama beserta batasan-batasan yang ada dalam melakukan perancangan.

- c. Penentuan spesifikasi (*setting requirements*)

Dalam tahap ini dilakukan penentuan spesifikasi dari rancangan yang akan dibuat.

d. Penentuan karakteristik (*determining characteristics*)

Dalam tahap ini dilakukan penyesuaian karakteristik rancangan yang akan dibuat dengan kebutuhan dan keinginan konsumen, sehingga desain yang akan dibuat dapat diterima.

e. Pembangkitan alternatif (*generating alternatives*)

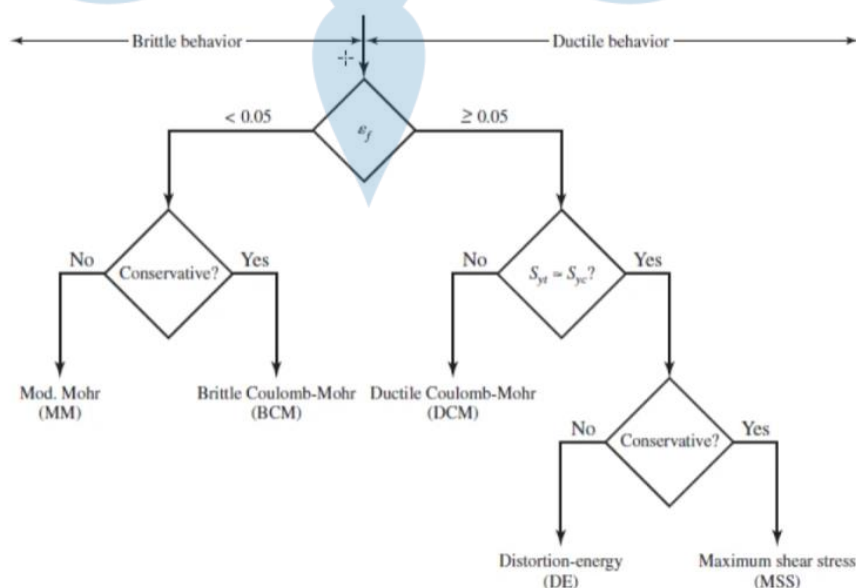
Dalam tahap ini dilakukan proses penentuan alternatif rancangan. Tujuan dari tahap ini adalah mendapatkan alternatif desain yang terbaik.

f. Evaluasi alternatif (*evaluating alternatives*)

Tahap ini bertujuan untuk membandingkan nilai tujuan perancangan berdasarkan kinerjanya yang sudah memiliki bobot.

2.2.7. Teori Kegagalan

Seorang insinyur Inggris W. J. M. Rankine mengemukakan bahwa kegagalan pada material akan terjadi pada saat tegangan normal maksimum yang dialami suatu material sama atau lebih besar dari tegangan luluh/tegangan *ultimate*, tanpa memperhitungkan tegangan utama lainnya, selain itu kegagalan juga dapat terjadi apabila tegangan tekanan normal lebih besar daripada tegangan luluh. Material berjenis *ductile*, kegagalannya dipengaruhi oleh nilai *yield*/tegangan luluh dan disertai dengan beberapa teori yaitu *Von Mises*, *Tresca*, *Gurson*, *Hosford*, dan *Hill*. Material berjenis *brittle*, kegagalannya dipengaruhi oleh nilai *fracture*/patahan dan disertai dengan dua teori yaitu *Mohr* dan *Rankine*. Gambar 2.5. menunjukkan pemilihan metode kegagalan.



GAMBAR 2.5. Penentuan Metode Kegagalan

(Sumber: *Budynas dan Nisbett*)

2.2.7.1. Teori Tresca

Tresca (1968) mengemukakan bahwa teori tegangan geser maksimum atau disebut juga *tresca yield criterion* akan terjadi apabila tegangan geser maksimum pada suatu titik material sama atau lebih besar dari nilai titik luluh atau nilai uji tekan material tersebut, pernyataan tersebut menghasilkan persamaan 2.1.

$$\tau_{max} = \tau_y$$

(2.1.)



GAMBAR 2.6. Lingkaran Mohr (*Triaxial*)

(Sumber: *The Efficient Engineer*)

Melalui Gambar 2.6. bisa disimpulkan jika pernyataan tersebut lebih berpengaruh terhadap τ_{max} daripada letak horizontal lingkaran *mohr*, sehingga didapatkan persamaan 2.2.

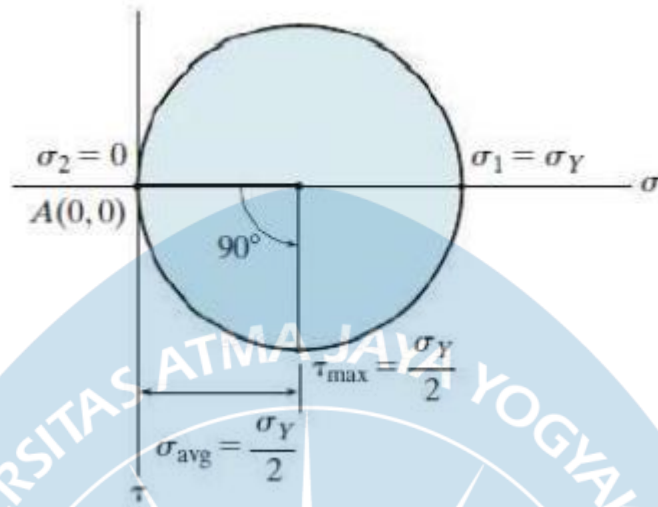
$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \tau_y$$

(2.2.)

Pada *uniiaxial tensile test* akan diperoleh $\sigma_3 = \sigma_2 = 0$ dengan $\sigma_1 = \sigma_y$, dan didapatkan persamaan 2.3.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_y$$

(2.3.)



GAMBAR 2.7. Lingkaran Mohr (Uni-axial)

(Sumber: Hibbeler)

Hibbeler (2014) menyatakan proses *yielding* yang terjadi pada material *ductile* sering diakibatkan adanya *slipping* yang menimbulkan garis tepi dan disebut dengan *Lüder's line*. Gambar 2.8. menunjukkan *Lüder's line*.



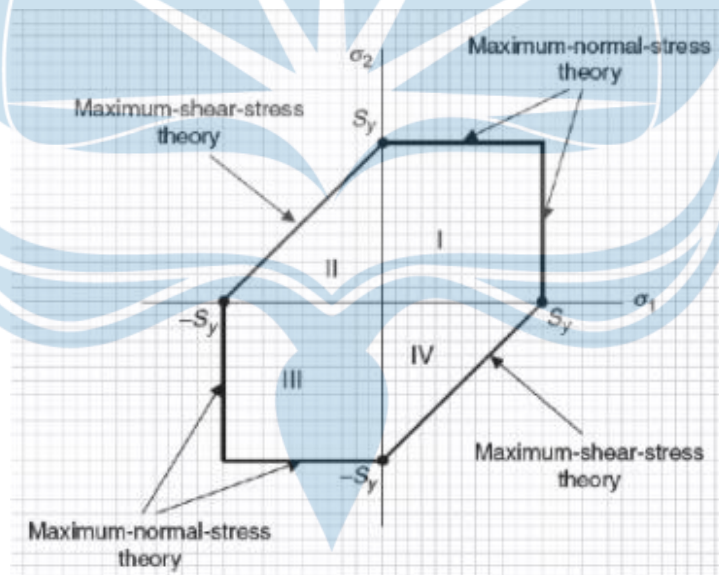
GAMBAR 2.8. Lüder's Line

(Sumber: Hibbeler)

Slipping dapat terjadi akibat adanya *shear stress*, contohnya pada saat suatu material terkena *yield stress*. Gambar 2.9. menunjukkan contoh material yang terkena *yield stress*. Gambar 2.10. menunjukkan diagram teori Tresca.



GAMBAR 2.9. Contoh Material yang Mengalami *Yield Stress*
(Sumber: Hibbeler)



GAMBAR 2.10. Diagram Teori Tresca
(Sumber: Aeroengineering)

2.2.7.2. Teori Von Mises

Teori *von mises* merupakan salah satu teori kegaagalan yang dikenalkan pertama kali oleh *Hubber* pada Tahun 1904, yang kemudian dikembangkan oleh *Von Mises*. Teori Von Mises memberi pernyataan bahwa “suatu kegaagalan akan

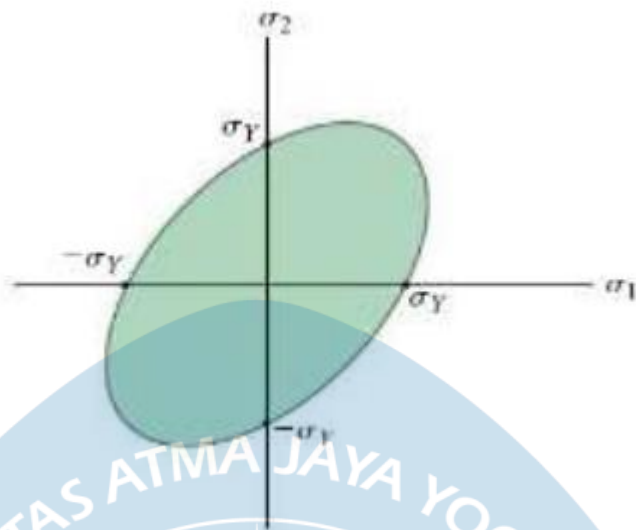
terjadi dalam kondisi multiaksial jika energi distorsi per unit volume setara atau bahkan lebih besar daripada energi distorsi per unit volume pada saat terjadi kegagalan dalam pengujian uniaxial kepada unit dengan material yang sama". Kriteria dalam *von mises* memberi pernyataan bahwa tegangan luluh bergantung kepada fungsi harga dari tegangan yang utama, maka dari itu dapat diperoleh persamaan *von mises* seperti di bawah.

$$\sigma_v = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}$$

Selain itu, tegangan *von mises* juga mengisyaratkan distorsi energi dapat terjadi akibat tegangan geser dan tegangan normal yang terbentuk apabila dilihat melalui komponen terjadinya ketiga tegangan tersebut. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_v = \frac{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(T_{xy}^2 + T_{xz}^2 + T_{yz}^2)}{2}$$

Melalui persamaan *von mises* diatas dapat disimpulkan bahwa apabila teori *von mises* memiliki nilai lebih besar atau sama dengan kekuatan luluh suatu material, maka dapat diambil kesimpulan bahwa material tersebut memiliki kekuatan struktur yang baik. Melalui uji aktual terhadap spesimen material *ductile* menunjukkan bahwa hasil *von mises* (*maximum distortion energy*) memperoleh nilai 15% lebih akurat daripada *tresca* (*maximum shear stress*). Gambar 2.11. menunjukkan diagram *Von mises*.

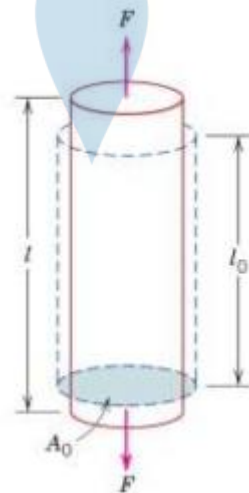


GAMBAR 2.11. Diagram Teori Von Mises

(Sumber: *Aeroengineering*)

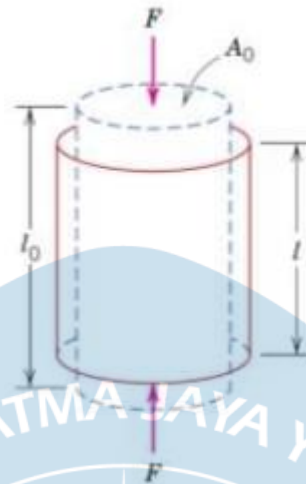
2.2.8. Stress

Menurut Budynas (2015) *stress* merupakan kuantitas distribusi gaya di suatu titik pada bidang permukaan benda yang unik serta mempunyai komponen yang searah atau tangensial. *Stress* memiliki 2 jenis, yaitu *shear stress* (gaya parallel dengan bidang) dan *normal stress* (gaya tegak lurus dengan bidang). *Normal stress* akan terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *tensile stress* dan *compressive stress*. Gambar 2.12. menunjukkan *tensile stress*. Gambar 2.13. menunjukkan *compressive stress*, dan Gambar 2.14. menunjukkan *shear stress*.



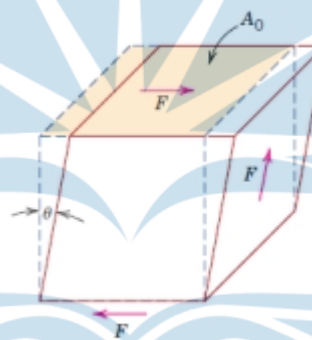
GAMBAR 2. 12. Tensile Stress

(Sumber: Callister Jr. dan Rethwisch, 2009)



GAMBAR 2. 13. Compressive Stress

(Sumber: Callister Jr. dan Rethwisch, 2009)



GAMBAR 2. 14. Shear Stress

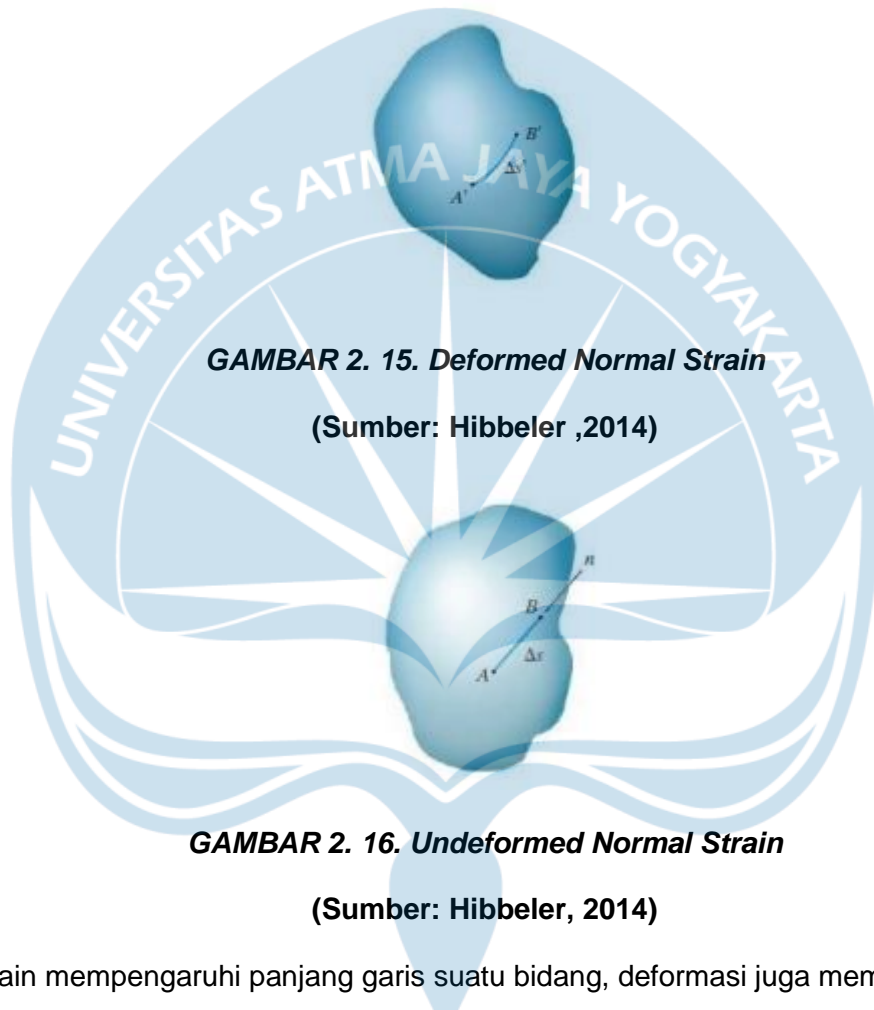
(Sumber: Calister Jr. dan Retwisch, 2009)

2.2.8. Displacement

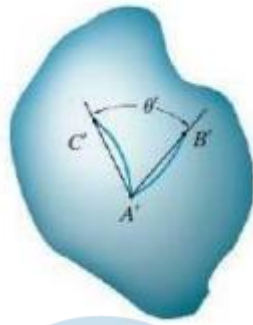
Menurut Beer (2001), *displacement* merupakan terjadinya gerakan di titik-titik tertentu yang dialami oleh bidang sistem yang bersifat struktural akibat adanya beban atau gaya pada bidang sistem tersebut. Menurut Hibbeler (2014) deformasi merupakan peristiwa terjadinya perubahan ukuran dan bentuk pada benda akibat adanya gaya yang diberikan pada benda tersebut, terjadinya deformasi tidak mungkin seragam dengan keseluruhan volumenya sehingga akan menimbulkan perubahan di garis geometri secara substansial dan bervariasi.

2.2.9. Strain

Hibbeler (2014) menyatakan bahwa *strain*/regangan terbagi menjadi dua jenis, yaitu *normal* dan *shear strain*. *Normal strain* adalah terjadinya penambahan panjang di satu bidang akibat adanya deformasi yang tidak perlu kita tentukan panjang sebenarnya. Gambar 2.15. menunjukkan *deformed normal strain*. Gambar 2.16. menunjukkan *undeformed normal strain*.

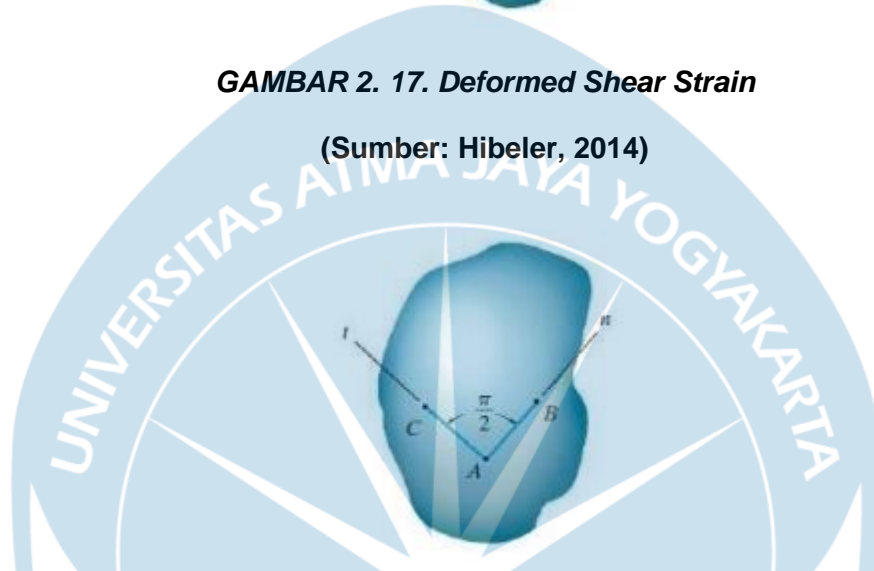


Selain mempengaruhi panjang garis suatu bidang, deformasi juga mempengaruhi dan bisa mengubah arah ataupun sudut garis bidang. Jika didalam 2 segmen garis yang saling tegak lurus satu sama lain sudutnya mengalami perubahan, hal tersebut disebut dengan regangan geser atau bisa disebut *shear strain*. Gambar 2.17. menunjukkan *deformed shear strain*. Gambar 2.18. menunjukkan *undeformed shear strain*.



GAMBAR 2. 17. Deformed Shear Strain

(Sumber: Hibeler, 2014)



GAMBAR 2. 18. Undeformed Shear Strain

(Sumber: Hibeler, 2014)

2.2.10. Factor of Safety

Factor of safety merupakan salah satu analisis penting didalam melakukan perencanaan atau perancangan suatu struktur, *factor of safety* tergantung dari dua elemen yang ada didalamnya yaitu bahan dan beban yang diberikan. Dalam penerapannya *factor of safety* menggunakan angka keamanan yang disimbolkan N yang digunakan dalam pengujian keamanan. Vidosic (1957) mengelompokkan nilai keamanan menjadi beberapa kategori, diantaranya:

- a) $N = 1,25 - 1,50$, kategori ini digunakan oleh bahan material yang *reliable* disertai dengan beban yang bisa ditetapkan dengan pasti.
- b) $N = 1,50 - 2,00$, kategori ini digunakan oleh bahan material yang *well known* disertai lingkungan dengan kondisi konstan dan beban yang bisa ditetapkan.
- c) $N = 2,00 - 2,50$, kategori ini digunakan oleh bahan material yang umum digunakan (*average*) disertai pada kondisi lingkungan biasa dan beban yang bisa ditetapkan.

- d) $N = 2,50 - 3,00$, kategori ini digunakan oleh material yang bersifat getas disertai pada kondisi lingkungan dan besaran beban yang lebih rendah dari rata-rata.
- e) $N = 3,00 - 4,00$, kategori ini digunakan oleh material yang sebelumnya tidak pernah dilakukan pengujian disertai dengan kondisi lingkungan dan besar beban rata-rata.

Dalam penggunaannya, *factor of safety* memiliki bentuk persamaan, yaitu

$$SF = \frac{Fu}{Fi}$$

SF = Faktor keamanan

Fu = Tegangan leleh

Fi = Tegangan ijin

Melalui persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai *factor of safety* harus memiliki nilai yang lebih besar dari 1 agar dapat dipastikan desain yang dibuat tidak mengalami kegagalan dan aman.

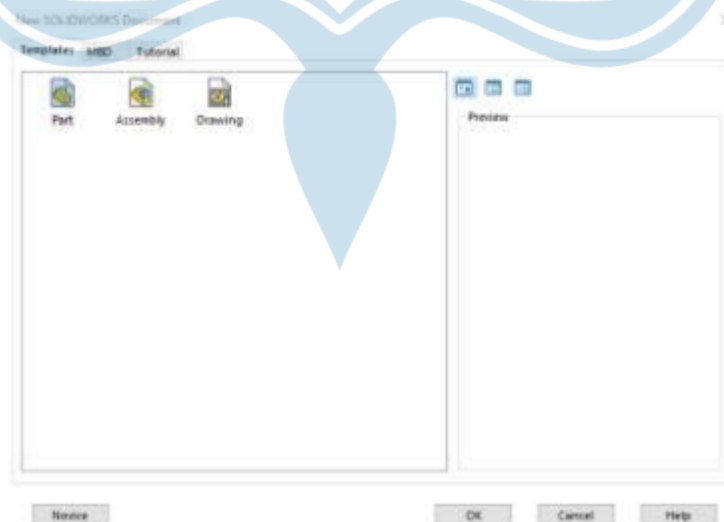
2.2.11. Solidworks

Salah satu *software* dari *Dassault Systemes* yang dapat digunakan untuk melakukan desain dan simulasi kekuatan adalah *SolidWorks 2018*. Menurut DSSC, *SolidWorks 2018* dapat kompatibel terhadap beberapa file *software* CAD yang lain, seperti *Solid Edge*, *CATIA*, dan *AutoDesk*. Beberapa aplikasi yang tersedia di *SolidWorks* adalah "*part*" yang merupakan objek 3D yang terbentuk dari *feature-feature*, biasanya *part* akan menjadi komponen dalam *assembly*. *Feature* merupakan bentuk dan operasi yang digunakan dalam membuat komponen atau *part*, *assembly* merupakan fitur yang digunakan untuk menggabungkan *part*, *feature*, dan *assembly* lain menjadi satu. Dengan adanya kelebihan-kelebihan yang dimiliki, *SolidWorks* dapat membantu dalam melakukan perancangan desain atau gambar baik 3D maupun 2D. Gambar 2.19. menunjukkan tampilan awal *solidworks*.



GAMBAR 2.19. Tampilan Awal Solidworks

Pada tampilan awal *software solidworks*, terdapat beberapa *menu* yaitu *file*, *view*, *tools*, dan *help*. Pada pilihan *file* akan terdapat 2 pilihan *new* dan *open*, fungsi dari *new* adalah membuka lembar kerja baru yang dapat langsung digunakan, dan untuk *open* digunakan untuk membuka pekerjaan yang sudah disimpan sebelumnya. Pilihan *view* dapat digunakan untuk memunculkan *icon* yang akan digunakan, pilihan selanjutnya adalah *help* dan *tools* yang digunakan untuk konfigurasi pada aplikasi dan juga informasi mengenai *license* dan *software update*. Pada saat akan memulai lembar kerja baru akan terdapat 3 pilihan yaitu *part*, *assembly*, dan *drawing*. Gambar 2.20. menunjukkan *dialog box*.

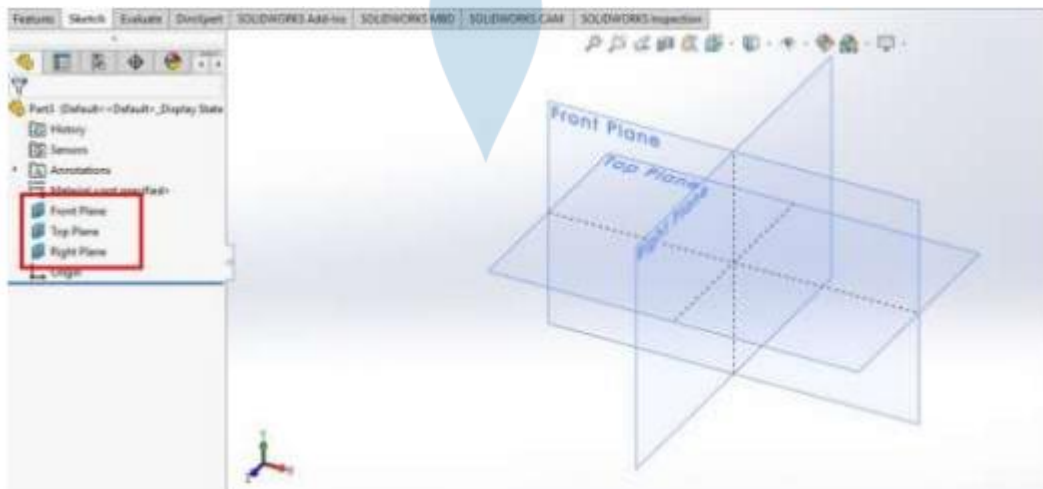


GAMBAR 2.20. Dialog Box Lembar Kerja Baru

Pilihan *part* dapat digunakan apabila akan membuat desain bagian *part* tertentu, pilihan *assembly* dapat digunakan dalam menggabungkan bagian-bagian yang sudah dibuat sebelumnya, dan pilihan *drawing* digunakan dalam membuat *draft* gambar yang disertai dimensi-dimensi gambar tersebut. Pada saat akan membuat pekerjaan baru, akan terdapat pemilihan satuan unit dan penentuan *plane*. Satuan unit yang dapat dipakai yaitu MKS (mmeter, kilogram, dan *second*), CGS (*centimeter*, gram, dan *second*), dan IPS (*inch*, *pound*, dan *second*) sedangkan untuk penentuan *plane* digunakan untuk menentukan arah pandangan gambar yaitu *top*, *front*, dan *right*. Gambar 2.21. menunjukkan penentuan satuan pada lembar kerja baru. Gambar 2.22. menunjukkan pemilihan arah pandangan/*plane*.



GAMBAR 2.21. Pemilihan Satuan pada Lembar Kerja Baru



GAMBAR 2.22. Pemilihan Arah Pandangan

Dalam penggunaan *solidworks* akan terdapat 2 fitur yang digunakan yaitu ikon *smart dimension* dan ikon *sketch*. Ikon *sketch* digunakan dalam mengerjakan sketsa gambar dan Ikon *smart dimension* dipakai dalam memberi detail dimensi ukuran di sketsa gambar yang telah dikerjakan. Gambar 2.23. menunjukkan pilihan ikon *sketch* dan *smart dimension* beserta ikon *shape* pada *sketch*.

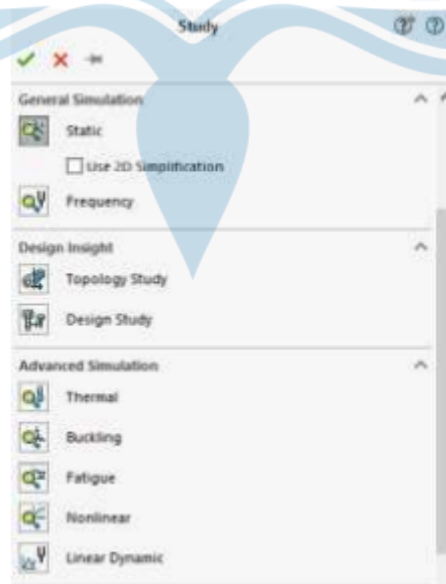


GAMBAR 2.23. Pilihan Sketch dan Smart Dimension

Pada saat akan memulai simulasi FEA (*Finite Element Method*) dapat dimulai dengan memilih *simulation* pada pilihan *solidworks add ins*, dan dilanjutkan dengan penentuan jenis pengujian yang ingin digunakan. Gambar 2.24. menunjukkan simulasi FEA. Gambar 2.25. menunjukkan pemilihan jenis pengujian FEA.



GAMBAR 2.24. Simulation Add Ins



GAMBAR 2.25. Pemilihan Jenis Pengujian

2.2.12. Finite Element Method

Salah satu metode pendekatan secara numerik yang dapat diterapkan untuk menyelesaikan masalah dalam suatu rekayasa/engineering adalah *finite element method* atau bisa disebut dengan *finite element analysis*. *Finite element method* dapat digunakan untuk melakukan analisis tegangan suatu struktur, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida.

Dalam penggunaan metode *finite element*, masalah-masalah yang dialami biasanya merupakan masalah dalam rekayasa yang tidak dapat diselesaikan oleh *analytical solution*. Inti dari metode *finite element* adalah dengan membagi benda yang dianalisis/diuji menjadi bagian-bagian yang berjumlah hingga (*finite*), bagian-bagian benda tersebut akan berperan sebagai elemen yang selanjutnya akan dihubungkan antar elemen yang satu dengan yang lainnya.

Ada beberapa tahapan dalam penerapan *finite element*, yaitu:

a) *Processing phase*

- i. Langkah pertama dalam tahap *processing phase* adalah menetapkan daerah atau bagian yang akan diselesaikan/dianalisis menggunakan *finite element*, yang kemudian membagi benda tersebut menjadi beberapa bagian (elemen).
- ii. Langkah kedua dalam tahap *processing phase* adalah asumsikan bentuk fungsi dalam memberi gambaran sifat elemen tersebut, hal ini sebagai gambaran solusi dari elemen tersebut.
- iii. Langkah ketiga adalah menyelesaikan persamaan dari elemen yang sudah dibuat.
- iv. Langkah keempat adalah menggabungkan elemen-elemen sebagai langkah untuk menentukan keseluruhan masalah.
- v. Langkah kelima adalah menentukan pembebanan, kondisi awal, dan kondisi batas.

b) *Solution phase*

Menyelesaikan persamaan aljabar *linier* maupun *non linier* untuk memperoleh hasil nilai perpindahan atau nilai temperatur.

c) *Post processing phase*

Dalam tahap ini akan diperoleh data-data penting seperti kecepatan mekanika fluida, nilai tegangan (*stress*), analisa statik, dan lainnya.