

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

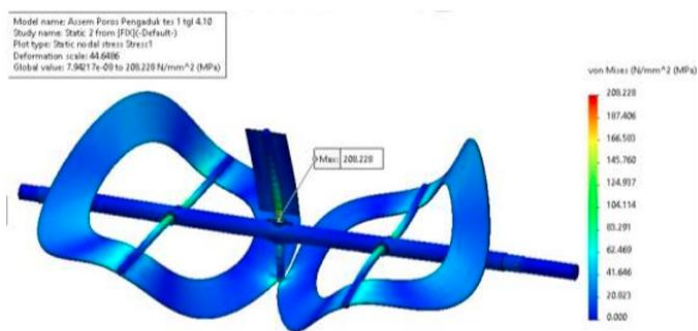
Mekanisme pada pengupas kulit kacang merupakan gerakan poros yang memutar bilah pengupas kulit kacang. Mekanisme seperti ini banyak digunakan pada beberapa mesin baik pada bidang industri maupun teknologi tepat guna pada UMKM. Salah satu mesin yang memiliki mekanisme yang sama dengan mesin pengupas kulit kacang yaitu mesin pencampur pupuk majemuk.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Suherman et al., 2024) yang melakukan pengujian “Analisa Pembebanan pada Bilah Pengaduk dan Poros Utama pada Mesin Pencampur Pupuk Majemuk dengan *Software SOLIDWORKS*”. Penelitian ini berfokus pada perancangan mesin pencampur pupuk majemuk dan perhitungan pembebanan pada bilah pengaduk menggunakan perhitungan teoritis dan *Software SOLIDWORKS*. Analisa pembebanan yang dicari pada penelitian ini yaitu *safety factor*, *von misses*, dan tegangan geser.

Material yang digunakan pada poros pengaduk mesin pencampur pupuk majemuk yaitu baja karbon rendah ASTM A36 dengan pengujian beban kapasitas mesin sebesar 312 kg (3060 N). Menurut (Sularso & K.Suga, 2004) menyebutkan, Diameter poros (ds) dihitung dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti momen puntir (T), faktor koreksi dengan momen puntir (kt) serta faktor koreksi dengan beban lentur (Cb). dimensi poros yang digunakan yaitu panjang 1115 mm dan diameter 64 mm.

sedangkan diameter pengaduknya 300 mm dengan tebal 3 mm.

Berdasarkan hasil perancangan mesin pencampur pupuk majemuk, diperoleh bahwa simulasi dengan menggunakan *software SOLIDWORKS* menghasilkan nilai faktor keamanan (FOS) minimum sebesar 2,9 pada komponen bilah pengaduk dan poros utama. Nilai ini menunjukkan bahwa desain yang dibuat telah memenuhi kriteria keamanan yang cukup baik untuk dioperasikan. Meskipun demikian, terdapat potensi risiko kerusakan pada pelat pengaduk, khususnya pada bagian berbentuk lingkaran, apabila massa pupuk yang diproses terlalu besar. Mesin yang dirancang ini mampu mencapai kapasitas produksi hingga 950 kg per jam dengan volume tabung sebesar 0,249649 m³. Dengan spesifikasi tersebut, mesin ini dinilai mampu memproduksi pupuk majemuk dalam jumlah besar secara efisien dalam satu siklus operasi.



Gambar 2. 1. Von mises poros dan bilah pengaduk pupuk majemuk
(Suherman et al., 2024)

2.2. Mesin Pengupas Kulit Kacang

“Mesin adalah alat yang mempunyai daya gerak atau tenaga baik dijalankan dengan motor penggerak maupun tenaga manusia”. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa mesin pengupas kulit kacang tanah adalah alat yang digunakan untuk mengupas kulit kacang tanah dengan bantuan mesin penggerak menggunakan sistem transmisi *pulley* dan *v- belt*. (Afdal, H., & Muhammad, 2022).

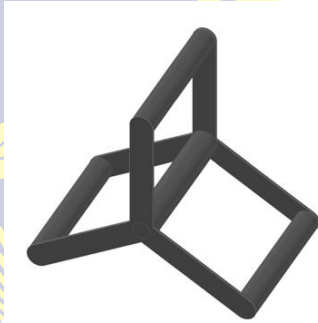


Gambar 2. 2. Mesin Pengupas Kulit Kacang
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Prinsip kerja mesin pengupas ini adalah mesin pengupas kulit kacang tanah yang akan digerakkan oleh motor penggerak. Kemudian, kacang yang akan dimasukkan kedalam mesin melalui corong masukan hingga kacang di tekan unit pengupas. Setelah kulit kacang pecah, untuk memisahkan biji dan kulit kacang maka kipas akan menghempaskan kulit kacang melalui corong sehingga kulit kacang akan terpisah dengan biji yang jatuh ke wadah.

2.3. Bilah Pengupas Kulit Kacang

Unit pengupas kacang tanah merupakan serangkaian sistem mekanik yang dirancang untuk memisahkan kulit kacang tanah. Mekanisme ini terdiri atas poros silinder yang disambung dengan rangka utama yang berbentuk lingkaran dan tersambung dengan batang silinder pengupas. Mekanisme tersebut akan berputar dan dengan gaya gesek yang bekerja akan mengupas kulit kacang tanah.



Gambar 2. 3. Bilah Pengupas Mesin Pengupas Kulit Kacang

2.4. Mekanika Kekuatan Material

Mekanika kekuatan material merupakan cabang ilmu dari mekanika yang mempelajari tentang efek internal dari tegangan dan regangan pada sebuah benda padat yang dikenai beban eksternal. Salah satu eksperimen untuk menguji suatu kekuatan material adalah dengan pengujian defleksi. *Beam* dan *shaft* merupakan komponen yang paling banyak mengalami defleksi. Hal ini dikarenakan pada *beam* dan *shaft* merupakan suatu komponen terpenting dari suatu konstruksi mesin. Pada artikel ini dipaparkan rancang bangun peralatan praktikum untuk pengujian defleksi pada *beam* dan *shaft*. Pengujian meliputi tiga macam, yaitu

pengujian defleksi pada *cantilever beam*, pengujian defleksi pada *overhang beam* dan pengujian defleksi pada shaft. (Sumantri et al., 2015)

Menurut (Marthen Paloboran et al., 2021) mekanika kekuatan material atau mekanika beban merupakan turunan dari ilmu fisika yang mempelajari perilaku benda bergerak, baik berpindah posisi maupun berubah bentuk atau terdeformasi akibat gaya atau beban yang bekerja padanya. Dalam aplikasi keilmuan ini terbagi dalam tiga fokus utama yaitu : kinematika, dinamika dan statika.

Material memiliki sifat diantara-Nya sifat mekanik yaitu sifat yang menyatakan kemampuan suatu material / komponen untuk menerima beban, gaya dan energi tanpa menimbulkan kerusakan pada material/komponen tersebut. (Hidayat, 2019)

Tabel 2. 1. Kekuatan Material Beberapa Bahan
Sumber : (M. Syafe'i, 2025)

LOGAM	KEKUATAN LULUH (PSI(MPa))	KEKUATAN TARIK (PSI(MPa))	KEULETAN % EL (in. 2 INCHI)
EMAS	-	19.000 (130)	45
ALUMINIUM	400 (28)	10.000 (69)	45
TEMBAGA	10.000 (69)	29.000 (200)	45
BESI	19.000 (130)	38.000 (262)	45
NIKEL	20.000 (138)	70.000 (480)	40
TITANIUM	35.000 (240)	48.000 (330)	30
MOLIBDENUM	82.000 (565)	95.000 (655)	35

Sifat mekanik merupakan karakteristik material yang menggambarkan respons atau perilaku suatu bahan ketika

menerima pembebanan mekanik, baik yang bersifat statis maupun dinamis. Contoh sifat mekanik adalah :

1. Kekuatan (*Strength*)

Merupakan kemampuan suatu material dalam menahan tegangan tanpa mengalami kegagalan atau patah. Berdasarkan jenis pembebanan yang diberikan, kekuatan material dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir (torsi), serta kekuatan lentur.

Kekuatan material adalah ilmu yang mempelajari kemampuan suatu bahan dalam menahan beban atau gaya luar tanpa mengalami kegagalan, seperti patah atau deformasi permanen. Bidang ini menganalisis tegangan, regangan, dan defleksi pada struktur (batang, poros, balok) untuk memastikan keamanan dan efisiensi konstruksi. (Isworo, 2018).

2. Kekakuan (*Stiffness*)

kekakuan material merupakan suatu sifat mekanik pada suatu material dimana material tersebut dapat diregangkan dengan keadaan tertentu (Coulson, J.M. And Richardson, 1983)

kemampuan suatu material dalam menahan beban atau tegangan yang diberikan tanpa mengalami perubahan bentuk yang berarti, baik berupa deformasi permanen maupun defleksi sementara. Sifat ini menunjukkan kekakuan material dalam mempertahankan bentuk dan dimensinya ketika menerima gaya dari luar selama kondisi pembebanan berlangsung.

3. Elastisitas (*Elastisity*)

Didefinisikan sebagai kemampuan suatu material dalam menerima atau menahan tegangan tanpa mengalami perubahan bentuk yang bersifat permanen setelah beban dilepaskan. Dengan kata lain, material mampu kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami deformasi akibat pembebanan. Sifat ini menunjukkan batas elastis material, yaitu kondisi di mana material masih dapat pulih sepenuhnya tanpa mengalami kerusakan struktur internalnya.

4. Plastisitas (*Plasticity*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk mengalami deformasi plastis atau perubahan bentuk permanen tanpa mengalami kerusakan atau patah. Sifat ini menunjukkan sejauh mana material dapat dibentuk sebelum mengalami kegagalan. Material dengan tingkat plastisitas tinggi biasanya disebut ulet (*ductile*), karena mampu mengalami regangan besar. Sebaliknya, material dengan plastisitas rendah disebut getas (*brittle*), karena cenderung patah tanpa mengalami deformasi yang signifikan terlebih dahulu saat diberi beban.

5. Keuletan (*Ductility*)

Merupakan sifat material yang menunjukkan kemampuan menyerupai kawat saat menerima beban tarik. Material yang bersifat ulet (*ductile*) harus memiliki kombinasi kekuatan dan kelenturan agar tidak mudah patah. Tingkat keuletan umumnya dinyatakan melalui persentase regangan hingga putus. Sifat ini banyak dimanfaatkan dalam bidang teknik. Contoh material yang memiliki keuletan baik antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, serta beberapa paduan logam lainnya.

6. Ketangguhan (*toughness*)

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

Ketangguhan menggambarkan seberapa besar energi yang dapat diserap oleh material sebelum mengalami kegagalan; biasanya diwakili oleh luas area di bawah kurva tegangan–regangan hingga titik patah. Material yang tangguh cenderung tahan benturan, guncangan, dan beban dinamis sehingga tidak mudah patah rapuh. (M. Syafe'i, 2025).

7. Kegetasan (*brittleness*)

Merupakan sifat suatu material yang berlawanan dengan keuletan, di mana bahan cenderung tidak mampu mengalami deformasi plastis sebelum mengalami kegagalan. Kerapuhan menunjukkan kecenderungan material untuk patah atau pecah dengan sangat sedikit atau hampir tanpa perubahan bentuk permanen. Material yang bersifat rapuh biasanya tidak mampu menahan regangan yang besar, sehingga akan langsung mengalami kerusakan ketika diberi beban tarik. Sifat ini sering menjadi perhatian dalam perancangan karena berpotensi menyebabkan kegagalan tiba-tiba tanpa tanda deformasi yang signifikan sebelumnya. Contoh material yang memiliki sifat kerapuhan tinggi antara lain besi cor, kaca, dan beberapa jenis keramik.

8. Kelelahan (*fatigue*)

Merupakan kecenderungan suatu logam mengalami kegagalan atau patah akibat pembebanan berulang (beban dinamis), meskipun besar tegangan

yang diberikan masih berada jauh di bawah batas elastisnya. Fenomena ini dikenal sebagai kelelahan material, yang dapat menyebabkan kerusakan secara bertahap hingga akhirnya material mengalami patah tanpa deformasi besar sebelumnya.

Fatigue muncul saat material terus mengalami siklus tarik–tekan, lentur, atau kombinasi tegangan yang berulang, misalnya pada poros, roda gigi, sayap pesawat, atau rangka jembatan. Kerusakan dimulai dari retak mikro di permukaan atau konsentrasi tegangan, lalu merambat sedikit demi sedikit setiap siklus hingga penampang sisa tidak mampu menahan beban, sehingga material patah tanpa peringatan. (Septiawan, 2018)

9. Melar (*creep*)

Merupakan kecenderungan suatu logam untuk mengalami deformasi plastik bila pembebanan yang besarnya relatif tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

Proses melar umumnya dibagi menjadi tiga tahap: tahap awal (laju regangan menurun), tahap stabil (laju regangan relatif konstan), dan tahap akhir (laju regangan meningkat tajam dan berakhir patah). Karena melar berhubungan erat dengan waktu dan temperatur, pada perencanaan material suhu tinggi sering digunakan kekuatan melar atau *creep strength* sebagai parameter desain. (Ekaputra & Haryadi, 2017)

10. Kekerasan (*hardness*)

Merupakan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi / penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*) yaitu

ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

Kekerasan berbeda dari kekuatan (strength) dan keuletan/keuletan plastis; kekuatan menyangkut beban maksimum yang dapat ditahan, sedangkan kekerasan lebih fokus pada resistensi terhadap deformasi lokal di permukaan. Namun, nilai kekerasan sering digunakan sebagai indikator kualitatif terhadap kekuatan dan keausan material, misalnya pada baja atau logam mesin (Callister, 1995)

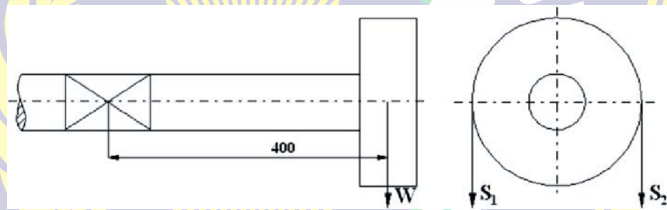
2.5. Kinematika Beban

Kinematika adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari gerak sebuah titik atau benda tanpa memperhitungkan penyebab benda tersebut bergerak. Benda dikatakan bergerak jika mengalami perubahan posisi. Besar perubahan posisi dinyatakan sebagai perpindahan. Perpindahan suatu benda yang terjadi setiap satuan waktu disebut dengan kecepatan. Jika kecepatan benda berubah maka disebut besaran percepatan. Percepatan adalah perubahan kecepatan setiap detik (Sudirman et al., 2020).

Posisi, Perpindahan, Kecepatan dan Percepatan merupakan besaran yang digunakan dalam cabang kinematika. Besaran-besaran tersebut menyatakan nilai dari besaran-besaran yang harus disertai dengan arahnya. Selain itu, dalam kinematika kita juga mempelajari besaran vektor yang berkaitan langsung dengan gerak, yaitu jarak, kelajuan dan perlajuan. Jarak menyatakan panjang lintasan yang ditempuh suatu benda, kelajuan menyatakan besar jarak dalam setiap satuan waktu, sedangkan perlajuan adalah perubahan kelajuan setiap satuan waktu (Sudirman et al., 2020)

2.6. Poros

Poros adalah bagian mesin yang digunakan untuk mentransmisikan daya, sebagai bagian stasioner yang berputar, poros terbagi menjadi beberapa jenis yaitu poros transmisi, poros spindle, poros gandar. Poros transmisi lebih dikenal dengan sebutan shaft. Shaft akan mengalami beban puntir berulang, beban lentur berganti ataupun kedua – duanya. Pada shaft, daya dapat ditransmisikan melalui gear, belt - pulley, rantai – sprocket, dll. Terdapat beberapa hal penting yang harus diketahui dalam perancangan suatu poros seperti ukuran diameter yang aman digunakan serta tegangan yang terjadi pada poros tersebut. (Ibriza & Wiseno, 2022)



Gambar 2. 4. Poros

Poros merupakan salah satu komponen mesin yang memiliki peranan penting dari setiap mesin. Poros merupakan elemen mesin yang berputar yang digunakan untuk meneruskan daya atau putaran dari suatu komponen ke komponen lainnya.

Poros dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

- a. Poros transmisi, yaitu poros yang terutama dipergunakan untuk memindahkan momen puntir.

- b. Poros dukung, yaitu poros yang khusus diperuntukkan mendukung elemen mesin yang berputar.

Poros dukung dapat dibagi menjadi poros tetap dan poros berputar. Pada umumnya poros dukung itu pada kedua atau satu ujungnya sering ditahan terhadap putaran. Poros dukung pada umumnya terbuat dari baja bukan paduan (Stolk and Kros, 1981).

Untuk merencanakan sebuah poros, hal – hal berikut ini perlu diperhatikan, misalnya kekuatan poros. Suatu poros dapat mengalami beban puntir atau bengkok atau gabungan antara puntir dan bengkok. Juga ada poros yang mengalami beban tarik dan tekan seperti poros baling – baling kapal atau turbin, dll. Kelelahan tumbukan atau pengaruh konsentrasi tegangan bila diameter poros diperkecil atau bila poros mengalami alur pasak harus diperhatikan. Suatu poros harus cukup kuat untuk menahan beban – beban di atas (Sularso & K.Suga, 2004)

Diameter poros yang bekerja dapat dihitung menggunakan perhitungan momen inersia untuk poros pejal dan persamaan tegangan geser izin sebagai berikut:

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \quad (\text{persamaan momen inersia})$$

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (\text{persamaan tegangan geser izin})$$

Jika disubstitusikan maka :

$$\tau = \frac{T\left(\frac{d}{2}\right)}{\frac{\pi d^4}{32}}$$

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Sehingga didapatkan :

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \times T}{\tau \times \pi}} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

τ = Tegangan geser izin

Untuk mengetahui faktor momen puntir dapat diketahui melalui tabel berikut :

Tabel 2. 2. Faktor Koreksi Momen Lentur
(Sularso & K.Suga, 2004)

Pembebanan momen lentur	K_m
Momen lentur tetap	1,5
Momen lentur tumbukan ringan	1,5-2,0
Momen lentur tumbukan berat	2,3-3,0

2.7. Pembebanan Dinamis

Pembebanan dinamis pada poros terjadi karena adanya gaya yang berubah secara terus-menerus selama poros bekerja, seperti akibat putaran mesin, getaran, serta gaya radial dan aksial. Kondisi tersebut menyebabkan timbulnya tegangan lentur dan tegangan puntir yang bekerja secara

bersamaan pada poros. Jenis pembebanan dinamis meliputi tarik-tekan berulang, puntiran bolak-balik, dan beban kejut. Pembebanan jenis ini lebih berbahaya dibandingkan pembebanan statis karena dapat memicu kelelahan material atau fatigue sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya retak, deformasi, bahkan kegagalan pada poros saat digunakan dalam jangka panjang (Maulita et al., 2024)

Menghitung beban poros yang berputar melibatkan analisis gabungan beban puntir (torsi) dan beban lentur (bending) akibat daya yang ditransmisikan, berat komponen (pulley/gear), serta gaya sentrifugal.

Beberapa tahapan untuk menghitung beban yang terjadi pada poros adalah sebagai berikut :

2.7.1. Menghitung Torsi

Torsi merupakan momen gaya yang menyebabkan suatu benda mengalami gerak putar atau rotasi terhadap poros tertentu. Dalam ilmu fisika, torsi diperoleh dari hasil perkalian antara besar gaya yang bekerja dengan panjang lengan gaya, yaitu jarak antara titik kerja gaya terhadap sumbu putar benda tersebut.

Untuk menentukan spesifikasi apa saja yang dibutuhkan untuk motor dan penggerak lainnya, maka perlu diketahui torsi yang akan dikerjakan mesin. Untuk menghitung torsi dapat menggunakan persamaan berikut :

$$T = F \times r \dots\dots\dots 2.2$$

Keterangan :

$T = \text{Torsi (Nm)}$

$F = \text{Gaya (Newton)}$

$r = \text{Jari-jari lengan momen (meter), yaitu jarak dari titik pusat rotasi ke titik gaya bekerja (tegak lurus)}$

2.7.2. Menghitung Tegangan

Nilai Tegangan dan Regangan poros bilah pengupas mesin pengupas kulit kacang. Tegangan geser adalah tegangan yang terjadi akibat adanya gaya yang bekerja sejajar terhadap permukaan penampang suatu benda sehingga menyebabkan bagian-bagian benda tersebut cenderung bergeser atau menggelincir satu sama lain. Tegangan geser terjadi apabila beban terpasang menyebabkan salah satu penampang benda cenderung menggelincir pada penampang yang bersinggungan. Secara matematis, tegangan geser dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots 2.3$$

Dengan :

$\tau = \text{tegangan geser (Pa atau N/m}^2\text{)}$

$F = \text{gaya geser (N)}$

$A = \text{luas penampang (m}^2\text{)}$

2.7.3. Menghitung Momen Inersia

Momen inersia merupakan besaran yang menunjukkan tingkat kelembaman suatu benda terhadap gerakan rotasi pada sumbu putarnya. Konsep ini serupa dengan inersia linier, tetapi

diterapkan pada gerak berputar. Nilai momen inersia yang semakin besar menyebabkan benda lebih sulit dipercepat, diputar, maupun dihentikan dari gerak rotasinya. (Hibeler, 2015)

Secara matematis momen Inersia pada poros silinder pejal dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan :

I = Momen Inersia (m^4)

d = Diameter Poros (m)

2.7.4. Menghitung Gaya Sentrifugal (Beban Dinamis)

Gaya sentrifugal merupakan gaya yang arahnya menjauhi pusat atau sumbu putar saat suatu benda bergerak melingkar. Besarnya gaya ini dipengaruhi oleh massa benda, jarak benda terhadap sumbu putar, serta kecepatan rotasi yang terjadi. Semakin besar nilai ketiga faktor tersebut, maka gaya sentrifugal yang dihasilkan juga akan meningkat. Penggunaan beban yang hanya berada pada satu sisi dapat menyebabkan ketidakseimbangan pada sistem putar. Kondisi tersebut menimbulkan getaran berlebih yang berpotensi tidak mampu ditahan oleh struktur sehingga dapat memicu kerusakan pada komponen mesin.

gaya sentrifugal termasuk beban dinamis karena merupakan efek inersia yang muncul pada sistem berputar dan berubah sesuai kecepatan sudut. Ini menambah beban radial pada elemen seperti poros atau crane.

Secara matematis gaya sentrifugal dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$F_{sent} = m \times r \times \omega^2 \dots\dots\dots 2.4$$

Dengan :

F_{sent} = Gaya sentrifugal

m = Massa komponen

r = Jari-jari lintasan

ω = kecepatan radial

2.8. ***Finite Elemen Methode (Metode Elemen Hingga)***

Finite Element Method (FEM) atau Metode Elemen Hingga merupakan suatu teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial (PDE) yang sering muncul dalam berbagai permasalahan teknik dan fisika. Metode ini banyak diterapkan pada analisis struktur, perpindahan panas, mekanika fluida, serta fenomena elektromagnetik. Dengan membagi domain menjadi elemen-elemen kecil, FEM mampu memberikan pendekatan solusi yang cukup akurat terhadap masalah yang kompleks.

Metode Elemen Hingga adalah metode numerik untuk mendapatkan solusi persamaan diferensial, baik

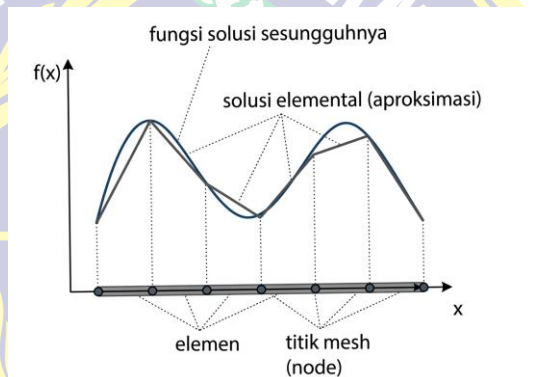
persamaan diferensial biasa (*Ordinary Differential Equation*) maupun persamaan diferensial parsial (*Partial Differential Equation*). Karena persamaan diferensial sering kali digunakan sebagai model permasalahan engineering maka penting bagi para insinyur untuk dapat memahami dan mampu menerapkan MEH. Saat ini MEH merupakan salah satu metode numerik paling versatile untuk memecahkan problem dalam domain kontinum. (Prabuono, 2012).

Pada awalnya MEH dikembangkan untuk memecahkan problem di bidang mekanika benda padat (*solid mechanic*), tetapi kini MEH sudah merambah ke hampir semua problem engineering seperti mekanika fluida (*fluid mechanics*), perpindahan panas (*heat transfer*), elektromagnetik (*electromagnetism*), getaran (*vibration*), analisis modal (*modal analysis*), dan banyak lagi problem engineering lainnya.

Proses inti MEH adalah membagi problem yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil atau elemen-elemen dari mana solusi yang lebih sederhana dapat dengan mudah diperoleh. Solusi dari setiap elemen jika digabungkan akan menjadi solusi problem secara keseluruhan.

Proses inti MEH adalah membagi problem yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil atau elemen-elemen dari mana solusi yang lebih sederhana dapat dengan mudah diperoleh. Solusi dari setiap elemen jika digabungkan akan menjadi solusi problem secara keseluruhan.

cara kerja MEH di mana solusi suatu problem yang kompleks diaproksimasi oleh solusi elemen. Untuk mendapatkan solusi elemen tal, MEH menggunakan fungsi interpolasi untuk meng-aproksimasi solusi elemen. Untuk contoh ini suatu fungsi linear yang sederhana dipergunakan sebagai fungsi interpolasi. Setelah solusi setiap elemen diperoleh, dengan menggabungkan solusi-solusi elemen maka solusi keseluruhan problem dapat diperoleh fungsi kuadratik sebagai diperoleh dengan menggunakan Fungsi polinomial seperti fungsi interpolasi, solusi yang lebih akurat bisa diperoleh.



Gambar 2. 5. Aproximasi keseluruhan diperoleh dari gabungan solusi-solusi elemen

Sumber : (Prabuono, 2012)

2.9. **Meshing**

Meshing merupakan proses membagi model atau benda menjadi beberapa elemen yang dibatasi oleh suatu boundary. Tipe *mesh* yang digunakan adalah solid *mesh*. Simulasi stress analysis dilakukan untuk mendapatkan hasil pembebanan statik berupa *von mises stress* dan *Factor of safety* (FOS) dan

displacement, hal ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan dari perancangan yang telah dibuat.

Mesh pada *SOLIDWORKS* adalah algoritma *meshing* tingkat lanjut yang secara otomatis menghasilkan elemen jaring (*mesh*) lebih halus pada area model yang melengkung atau memiliki geometri kompleks, namun tetap menjaga jumlah node agar tetap efisien.

2.10. Von mises Stress

Tegangan *Von mises* merupakan parameter tegangan ekuivalen yang digunakan untuk menganalisis perilaku luluh pada material ulet akibat kombinasi pembebanan. Nilai tegangan ini diperoleh dari penggabungan komponen tegangan normal dan tegangan geser menjadi satu nilai representatif yang kemudian dibandingkan dengan tegangan luluh material untuk mengevaluasi keamanan serta ketahanan komponen terhadap beban yang diterima. (Wright, 2011).

Fungsi tegangan *von mises* adalah

1. Menentukan apakah suatu komponen aman terhadap kegagalan akibat luluh.
2. Digunakan dalam analisis struktur dan mesin menggunakan metode elemen hingga (FEM).
3. Menjadi parameter utama pada simulasi perangkat lunak seperti *SolidWorks Simulation*, ANSYS, dan Abaqus.

Secara matematis untuk mengetahui tegangan *von mises* untuk kondisi tegangan tiga dimensi dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \dots\dots\dots 2.5$$

Dengan :

σ_v = Tegangan *Von mises* (MPa)

$\sigma_{v 1,2,3}$ = Tegangan utama (*principal stresses*)

Apabila gaya yang bekerja hanya satu arah, maka tegangan *von mises* sama dengan tegangan normal benda tersebut, dapat dicari menggunakan perhitungan :

$$\sigma_v = \frac{F}{A} \dots\dots\dots 2.6$$

Dengan :

F = gaya yang bekerja (N)

A = luas permukaan (m²)

2.11. Momen Lentur

Momen lentur merupakan momen internal yang timbul pada suatu struktur akibat adanya beban yang bekerja sehingga menyebabkan elemen struktur mengalami deformasi berupa pembengkokan. Besarnya momen lentur dipengaruhi oleh besar gaya yang bekerja dan jaraknya terhadap titik tinjauan. Dalam analisis struktur, momen lentur digunakan untuk menentukan distribusi tegangan serta mengevaluasi kekuatan dan keamanan komponen terhadap beban yang diterima.

Momen lentur disebabkan oleh beban eksternal yang cenderung membengkokkan benda di sekitar sumbu yang terletak di dalam bidang area tersebut. (Hibeler, 2015)

Untuk mengetahui momen lentur yang bekerja, secara matematis momen lentur dapat dicari menggunakan persamaan :

$$M = F \times d \dots\dots\dots 2.7$$

Dengan :

M = momen lentur ($N \cdot m$)

F = gaya yang bekerja (N)

d = jarak tegak lurus dari garis kerja gaya ke titik yang ditinjau (m)

2.12. ***Displacement***

Lenturan balok atau poros sering kali harus dibatasi untuk memberikan stabilitas, dan untuk balok, untuk mencegah retaknya material rapuh yang terpasang seperti beton atau plester. Namun yang terpenting, kemiringan dan perpindahan harus ditentukan untuk menemukan reaksi jika balok tersebut statis tak tentu. Dalam bab ini kita akan menemukan kemiringan dan perpindahan yang disebabkan oleh efek lentur. (Hibeler, 2015)

Displacement merupakan besarnya perpindahan yang terjadi pada suatu titik atau komponen dari posisi awalnya akibat beban yang bekerja. Nilai *displacement* digunakan untuk mengevaluasi tingkat deformasi struktur dan memastikan bahwa perpindahan yang terjadi masih berada dalam batas yang diizinkan sehingga tidak mengganggu fungsi maupun keamanan komponen. Dalam analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis*), *displacement* menjadi salah satu parameter utama untuk menilai respons struktur terhadap pembebanan. (Hibeler, 2015)

Displacement pada poros silinder pejal dapat terjadi akibat pembebanan gaya maupun momen. Gaya transversal menyebabkan poros mengalami defleksi lentur yang besarnya dipengaruhi oleh gaya, panjang poros, modulus elastisitas, dan momen inersia penampang. Sementara itu, momen puntir menghasilkan perpindahan sudut (*angular displacement*) yang bergantung pada besar torsi, panjang poros, modulus geser material, serta momen inersia polar penampang. Nilai *displacement* digunakan untuk mengevaluasi kekakuan dan kinerja poros selama beroperasi.

Jika ujung poros menerima momen lentur M , maka secara matematis perhitungan defleksi ujung poros adalah:

$$\delta = \frac{M \times L^2}{2 E \times I} \dots\dots\dots 2.8$$

Dengan :

δ = defleksi maksimum (m)

M = momen lentur (N·m)

L = panjang poros (m atau mm)

E = modulus elastisitas material (MPa)

I = momen inersia penampang (m⁴)

Untuk mengetahui modulus elastisitas pada suatu material atau bahan, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 3. Modulus elastisitas pada tiap material

Material	E (GPa)	E (MPa)
ASTM A36 Structural Steel	200	200.000
Baja Karbon (Carbon Steel)	200–210	200.000– 210.000
AISI 1020	205	205.000
AISI 1045	205	205.000
AISI 4130	205	205.000
AISI 4340	205	205.000
Stainless Steel 304	193	193.000
Stainless Steel 316	193	193.000
Besi Cor Abu-Abu	100–170	100.000– 170.000
Aluminium 6061-T6	68,9	68.900
Aluminium 7075-T6	71,7	71.700
Kuningan (Brass)	97–110	97.000–110.000
Perunggu (Bronze)	96–120	96.000–120.000
Tembaga (Copper)	110–130	110.000– 130.000
Titanium Ti-6Al-4V	114	114.000
Magnesium Alloy	45	45.000

2.13. **Factor of safety**

Faktor keamanan (*Factor of safety*) adalah parameter yang digunakan untuk mengevaluasi keandalan suatu komponen dalam menerima pembebanan. Nilai faktor keamanan dihitung dari perbandingan antara kekuatan material dan tegangan maksimum yang timbul akibat

beban kerja. Komponen dengan nilai FoS yang lebih tinggi memiliki tingkat keamanan yang lebih baik terhadap risiko deformasi maupun kegagalan material.(Shigley et al., 2015)

Pada analisis menggunakan tegangan *Von mises*, *Factor of safety* dapat dihitung menggunakan perhitungan :

$$FoS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{von\ mises}} \dots\dots\dots 2.9$$

Dengan :

FoS = *Factor of safety*

σ_y = Tegangan luluh (Yield Strength) material

$\sigma_{von\ mises}$ = Tegangan *von mises*

Untuk mengetahui *factor of safety* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 4. *Tabel factor of safety*
(Sularso & K.Suga, 2004)

Jenis Bahan	Sf_1	Sf_2
Bahan SF dengan kekuatan yang dijamin	5,6	1,3-3,0
Bahan S-C dan baja paduan	6,0	1,3-3,0