

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Roda Gigi

Roda gigi adalah elemen mesin yang menarik minat banyak insinyur karena banyak masalah teknologi yang muncul dalam siklus jaring lengkap (Jyothirmai dkk., 2014). Roda gigi merupakan salah satu elemen mesin yang berfungsi meneruskan daya dan putaran dari satu poros ke poros lainnya (Sutanto, 2017). Roda gigi merupakan salah satu komponen terpenting dalam sistem transmisi tenaga mekanis (Anusha dkk., 2014). Roda gigi merupakan salah satu penemuan manusia tertua (Rao dkk., 2015). Roda gigi adalah roda bergigi yang memiliki profil ruang gigi khusus yang memungkinkannya menyatu dengan mulus dengan roda gigi lain dan transmisi daya berlangsung dari satu poros ke poros lainnya melalui pengikatan gigi yang berurutan. (Ganugapenta dkk., 2018).

2.2. Fungsi Roda Gigi

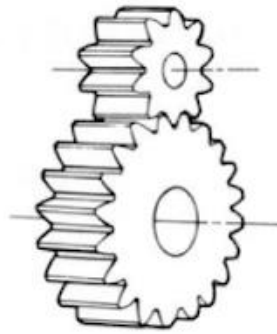
Roda gigi digunakan untuk memindahkan gaya dari poros penggerak ke poros penggerak, mengubah putaran dari tinggi ke rendah, atau sebaliknya. Mereka juga dapat mengangkut cairan dari satu tempat ke tempat lain, seperti yang dilakukan oleh pompa roda gigi (Hantoro & Tiwan, 2006).

2.3. Roda Gigi Lurus

Roda gigi lurus adalah jenis roda gigi yang paling banyak digunakan. Mereka dicirikan oleh gigi yang tegak lurus terhadap muka roda gigi. Roda gigi lurus sejauh ini adalah yang paling umum tersedia dan umumnya paling murah (Ragamshetty dkk., 2022). Roda gigi lurus adalah jenis roda gigi paling sederhana yang diproduksi dan umumnya digunakan untuk transmisi gerakan putar antara poros paralel. Roda gigi lurus adalah opsi pilihan pertama untuk roda gigi kecuali saat kecepatan, beban, dan rasio tinggi mengarah ke opsi lain. Jenis roda gigi lain mungkin juga lebih disukai untuk memberikan operasi getaran rendah yang lebih senyap (Vishwakarma dkk., 2017).

Roda gigi lurus digunakan untuk poros yang disejajarkan atau disejajarkan. Karena tidak menimbulkan gaya aksial, roda gigi lurus cocok untuk sistem

transmisi dengan gaya keliling yang besar. Ini juga lebih murah karena mudah diproses (Pramono & Asmara, 2020).

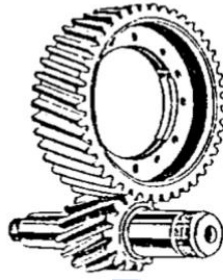


Gambar 2.1 Roda Gigi Lurus

(Sumber : Anonim, 2020)

2.4. Roda Gigi Miring

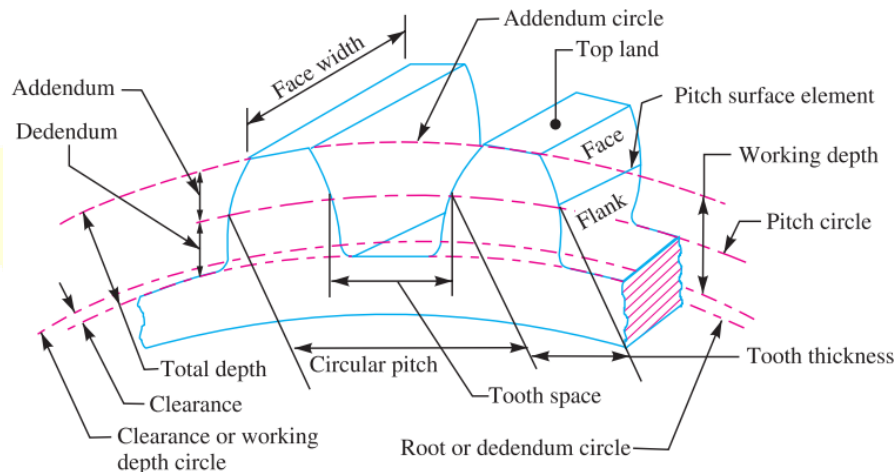
Roda gigi miring menawarkan penyempurnaan dibandingkan roda gigi lurus. Tepi depan gigi tidak sejajar dengan sumbu rotasi, tetapi diatur pada suatu sudut. Karena roda gigi melengkung, sudut ini menyebabkan bentuk gigi menjadi bagian dari miring. Gigi miring bergerak lebih lambat daripada gigi lurus. Hal ini menyebabkan roda gigi miring berjalan lebih mulus dan senyap daripada roda gigi lurus. Roda gigi miring juga menawarkan kemungkinan menggunakan poros non-paralel (Ganugapenta dkk., 2018). Roda gigi miring memiliki kelemahan utama yaitu harganya mahal dan jauh lebih sulit ditemukan. Roda gigi miring juga sedikit kurang efisien dibandingkan roda gigi lurus dengan ukuran yang sama (Ragamshetty dkk., 2022). Dengan roda gigi miring paralel, setiap pasang gigi pertama-tama melakukan kontak pada satu titik di satu sisi roda gigi; kurva kontak yang bergerak kemudian tumbuh secara bertahap melintasi permukaan gigi. Ini mungkin menjangkau seluruh lebar gigi untuk sementara waktu. Akhirnya, itu surut sampai gigi putus kontak satu titik di sisi berlawanan dari roda. Dengan demikian gaya diambil dan dilepaskan secara bertahap (Ganugapenta dkk., 2018)



Gambar 2.2 Roda Gigi Miring
(Sumber : Anonim, 2020)

2.5. Bagian-Bagian Roda Gigi

Istilah yang perlu diketahui dari pada roda gigi yaitu (Khurmi & Gupta, 2005) :



Gambar 2.3 Bagian-Bagian Roda Gigi
(Sumber : Khurmi & Gupta, 2005)

Bagian-bagian seperti berikut ini:

1. Lingkaran *pitch* (*Pitch circle*)

Lingkaran imajiner yang dengan gerakan menggelinding murni, akan memberikan gerakan yang sama dengan roda gigi yang sebenarnya.

2. Diameter lingkaran *pitch* (*Pitch circle diameter*)

Diameter lingkaran *pitch*. Ukuran roda gigi biasanya ditentukan oleh diameter lingkaran *pitch*. Ini juga disebut sebagai diameter *pitch*.

Secara matematis,

$$\text{Diameter pitch} = d_0 = m \cdot Z \text{ mm} \quad (1)$$

$$\text{Diameter luar pitch} = d_a = d_0 + 2 \cdot m \text{ mm} \quad (2)$$

3. Titik *pitch* (*Pitch point*)

Titik kontak yang umum antara dua lingkaran nada.

4. Permukaan *pitch* (*Pitch surface*)

Permukaan cakram bergulir yang telah diganti oleh roda gigi penyambungan di lingkaran *pitch*.

5. Sudut tekan atau sudut kemiringan (*Pressure angle or angle of obliquity*)

Sudut antara normal umum ke dua gigi gigi pada titik kontak dan garis singgung umum pada titik *pitch*. Biasanya dilambangkan dengan ϕ . Sudut tekanan standar adalah $14\frac{1}{2}^\circ$ dan 20° .

6. *Addendum*

Jarak radial gigi dari lingkaran *pitch* ke bagian atas gigi.

7. *Dedendum*

Jarak radial gigi dari lingkaran *pitch* ke bagian bawah gigi.

8. Lingkaran *addendum* (*Addendum circle*)

Lingkaran yang ditarik melalui bagian atas gigi dan konsentris dengan lingkaran *pitch*.

9. Lingkaran *dedendum* (*Dedendum circle*)

Lingkaran yang ditarik melalui bagian bawah gigi. Ini juga disebut lingkaran akar.

Keterangan : Diameter lingkaran akar = Diameter lingkaran *pitch* $\times \cos \phi$,
dimana ϕ adalah sudut tekanan

10. *Circular pitch*

Jarak yang diukur pada keliling lingkaran *pitch* dari titik satu gigi ke titik yang sesuai pada gigi berikutnya. Biasanya dilambangkan dengan p_c .

Secara matematis,

$$\text{Circular pitch} = t_c = \frac{\pi d_0}{Z} \text{ mm} \quad (3)$$

Keterangan:

d_0 : diameter lingkaran *pitch* (mm)

Z : jumlah gigi pada roda gigi

11. *Diametral pitch*

Rasio jumlah gigi dengan diameter lingkaran *pitch* dalam milimeter. Itu dilambangkan dengan p_d . Secara matematis,

$$\text{Diametral pitch} = t_d = \frac{Z}{d_o} = \frac{\pi}{t_c} \text{ dengan } \left(t_c = \frac{\pi d_o}{Z} \right) \quad (4)$$

Keterangan:

d_o : diameter lingkaran pitch (mm)

Z : jumlah gigi pada roda gigi

12. Modul (*Module*)

Rasio diameter lingkaran pitch dalam milimeter dengan jumlah gigi. Biasanya dilambangkan dengan m . Secara matematis,

$$m = \frac{d_o}{Z} \text{ (mm)} \quad (5)$$

13. *Clarence*

Jarak radial dari bagian atas gigi ke bagian bawah gigi, dalam roda gigi penyambung. Sebuah lingkaran yang melewati bagian atas *meshing* gear dikenal sebagai lingkaran jarak bebas.

14. Kedalaman total (*Total depth*)

Jarak radial antara *addendum* dan lingkaran *dedendum* roda gigi. Itu sama dengan jumlah *addendum* dan *dedendum*.

15. Kedalaman kerja (*Working depth*)

Jarak radial dari lingkaran tambahan ke lingkaran jarak bebas. Itu sama dengan jumlah tambahan dari dua roda gigi penghubung.

16. Ketebalan gigi (*Tooth thickness*)

Lebar gigi yang diukur sepanjang lingkaran *pitch*.

17. Ruang gigi (*Tooth space*)

Lebar ruang antara dua gigi yang berdekatan diukur sepanjang lingkaran *pitch*.

18. *Backlash*

Perbedaan antara ruang gigi dan ketebalan gigi, yang diukur pada lingkaran *pitch*.

19. Muka gigi (*Face of the tooth*)

Permukaan gigi di atas permukaan *pitch*.

20. *Top land*

Permukaan bagian atas gigi.

21. Sisi gigi (*Flank of the tooth*)

Permukaan gigi di bawah permukaan *pitch*.

22. Lebar muka (*Face width*)

Lebar gigi roda gigi yang diukur sejajar dengan sumbunya.

23. Profil (*Profile*)

Kurva yang dibentuk oleh wajah dan sisi gigi.

24. *Fillet radius*

Jari-jari inilah yang menghubungkan lingkaran akar dengan profil gigi.

25. Jalur kontak (*Path of contact*)

Jalur yang dilacak oleh titik kontak dua gigi dari awal hingga akhir pertunangan.

26. Panjang jalur kontak (*Length of the path of contact*)

Panjang *cut-off* normal umum oleh lingkaran *addendum* roda dan pinion.

27. Busur kontak (*Arc of contact*)

Jalur yang dilacak oleh titik pada lingkaran *pitch* dari awal hingga akhir pengikatan sepasang gigi tertentu. Busur kontak terdiri dari dua bagian, yaitu Busur pendekatan (*Arc of approach*). Ini adalah bagian dari jalur kontak dari awal pertunangan hingga titik awal. Busur diam (*Arc of recess*). Ini adalah bagian dari jalur kontak dari titik lempar ke ujung pengikatan sepasang gigi.

2.6. Tegangan

Tegangan merupakan gaya per satuan luas penampang. Secara umum, ada tiga tegangan utama yang biasanya bekerja pada elemen mesin, yaitu tegangan tarik, tegangan tekan, dan tegangan geser. Tegangan tarik terjadi ketika gaya tarik bekerja pada luas penampang. Tegangan tekan terjadi ketika gaya tekan pada luas penampang. Tegangan geser adalah tegangan yang terjadi ketika adanya gaya geser pada luas penampang geser buku anyar (Irawan, 2016). Secara umum, persamaan tegangan adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Dimana:

F : Gaya

A : Luas penampang

2.7. Regangan

Pertambahan panjang suatu batang atau struktur karena pembebanan disebut regangan (Irawan, 2016). Ketika suatu sistem gaya atau beban bekerja pada suatu

benda, benda tersebut mengalami deformasi tertentu. Deformasi per satuan panjang ini dikenal sebagai regangan satuan atau sekadar regangan (Khurmi & Gupta, 2005). Secara umum, persamaan regangan adalah sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (7)$$

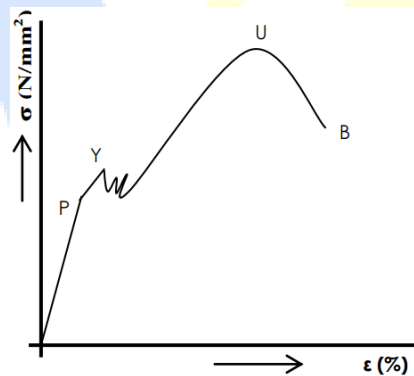
Dimana:

ΔL : Pertambahan panjang

L : Panjang mula-mula

2.8. Hubungan Tegangan-Regangan

Kekuatan adalah ukuran gaya yang dibutuhkan untuk mematahkan atau merusak suatu material, hal ini biasanya dinyatakan dalam hubungan tegangan-regangan (Bakri & Chandrabakty, 2006).



Gambar 2.4 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan

(Sumber : Bakri & Chandrabakty, 2006)

Pada saat pembebanan dimulai, hanya terjadi perubahan bentuk elastis (pemanjangan), yaitu perpanjangan sebanding dengan beban atau deformasi awal sebanding dengan besarnya tegangan, kecuali yang bersifat reversibel. Ketika tegangan dihilangkan, maka tegangan akan hilang. Jika bebannya dua kali lebih besar, maka pada daerah elastis perpanjangannya juga dua kali lebih besar (hukum Hooke masih berlaku) (Bakri & Chandrabakty, 2006).

Pada beban tertentu dimana hukum Hooke tidak berlaku, garis mulai membengkok dan deformasi elastis masih terjadi. Apabila beban diperbesar maka akan terjadi deformasi permanen yang cukup besar. Gejala ini menyertai terhentinya proses, seperti terlihat pada gambar 2.4. Deformasi permanen akan terjadi jika beban bertambah melebihi Y (Bakri & Chandrabakty, 2006).

Beban terendah pada kondisi mulur ditunjukkan oleh Y (Gambar 2.4). Setelah melewati fase deformasi, maka beban akan bertambah secara bertahap hingga mencapai nilai maksimum ($U = \text{Ultimate}$) yang disertai dengan deformasi permanen (pemanjangan permanen). Grafik (Gambar 2.4) menunjukkan bahwa selain deformasi elastis juga terjadi deformasi permanen. Sekalipun volume batang diperbesar sedikit, penambahan panjang akan mengakibatkan penurunan luas penampang, sebagian bersifat elastis dan sebagian bersifat inelastis atau permanen (Bakri & Chandrabakty, 2006).

Kemampuan suatu bahan untuk menahan deformasi plastis disebut kekuatan luluh. Nilai kuat luluh merupakan besarnya gaya pada titik luluh dibagi luas penampang. Untuk baja ringan, kekuatan luluh terlihat jelas, sedangkan pada material tanpa batas proporsional yang jelas, kekuatan luluh didefinisikan sebagai tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan regangan plastis sebesar 0,2% (Bakri & Chandrabakty, 2006).

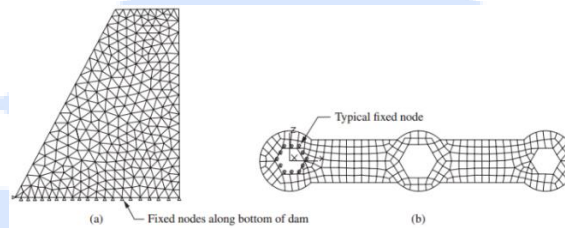
Setelah deformasi, tegangan yang diperlukan untuk mencapai deformasi plastis pada material meningkat hingga mencapai kekuatan maksimum dan kemudian menurun secara bertahap hingga material tersebut pecah. Kekuatan tarik suatu bahan ditentukan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang semula. Namun, pada material ulet, luas penampangnya berkurang ketika beban maksimum terlampaui (Bakri & Chandrabakty, 2006).

2.9. Metode Elemen Hingga

2.9.1. Definisi Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik dan matematika fisika (Logan, 2022). Metode elemen hingga adalah analisis numerik teknik untuk mendapatkan solusi perkiraan untuk memaksimalkan investasi yang ada dalam berbagai masalah teknik (Ganugapenta dkk., 2018). Karena keragaman dan fleksibilitasnya sebagai alat analisis, ia mendapat banyak perhatian di sekolah teknik dan industri. Menurut (Damtie & Tilahun, 2014) beberapa tahun terakhir penerapan Metode Elemen Hingga untuk aplikasi yang berbeda semakin meningkat dengan memanfaatkan fasilitas komputasi yang kuat.

Untuk sistem fisik yang melibatkan geometri rumit, pembebanan, dan sifat material, umumnya tidak mungkin mendapatkan solusi matematis analitik untuk mensimulasikan respons sistem fisik. Solusi analitik adalah solusi yang diberikan oleh ekspresi matematis yang menghasilkan nilai kuantitas yang tidak diketahui yang diinginkan di lokasi mana pun dalam suatu benda (di sini struktur total atau sistem fisik yang diminati) dan dengan demikian berlaku untuk jumlah tak terhingga lokasi dalam benda (Logan, 2022).



Gambar 2.5 Model dua dimensi dari (a) bendungan diskrit dan (b) kunci pas sepeda diskrit (Beban yang diterapkan tidak diperlihatkan)
(Sumber : Logan, 2022)

Perumusan elemen hingga dari masalah menghasilkan sistem persamaan aljabar simultan untuk solusi, daripada membutuhkan solusi persamaan diferensial. Numerik ini metode menghasilkan nilai perkiraan dari yang tidak diketahui pada jumlah titik diskrit dalam kontinum. Oleh karena itu, proses pemodelan benda dengan membaginya menjadi sistem ekuivalen dari benda-benda unit yang lebih kecil (elemen hingga) yang saling berhubungan pada titik-titik yang sama dengan dua elemen atau lebih (titik nodal atau simpul) dan/atau garis batas dan/atau permukaan disebut diskritisasi. Gambar 2.5 masing-masing menunjukkan penampang bendungan beton dan kunci pas sepeda, yang mengilustrasikan proses diskritisasi ini, di mana bendungan telah dibagi menjadi 490 elemen segitiga bidang dan kunci pas telah dibagi menjadi 254 elemen segiempat bidang. (Logan, 2022).

Area fundamental yang harus dipelajari untuk kemampuan kerja metode elemen hingga meliputi (Ganugapenta dkk., 2018):

1. Aljabar matriks
2. Mekanika padat
3. Metode variasi
4. Keahlian komputer

2.9.2. Langkah Dasar Metode Elemen Hingga

Langkah dasar dalam metode elemen hingga (Shinde dkk., 2013) sebagai berikut.

1. Diskritisasi domain
2. Identifikasi variabel
3. Pilihan fungsi aproksimasi
4. Pembentukan matriks kekakuan elemen
5. Pembentukan matriks kekakuan keseluruhan
6. Penggabungan kondisi batas
7. Pembentukan matriks pemuatan elemen.
8. Pembentukan matriks pemuatan keseluruhan
9. Solusi persamaan simultan
10. Perhitungan tegangan atau resultan tegangan

2.9.3. Aplikasi Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis masalah struktural dan nonstruktural (Logan, 2022). Secara singkat, solusi untuk masalah struktural biasanya mengacu pada penentuan perpindahan pada setiap simpul dan tegangan dalam setiap elemen yang membentuk struktur yang dikenai beban yang diterapkan. Dalam masalah nonstruktural, nodal yang tidak diketahui dapat berupa suhu atau tekanan fluida akibat fluks termal atau fluida (Logan, 2022).

Area struktural tipikal meliputi :

1. Analisis tegangan
2. Tekuk, seperti pada kolom, rangka, dan bejana.
3. Analisis getaran, seperti pada peralatan getaran.
4. Masalah benturan, termasuk analisis tabrakan kendaraan, benturan proyektil, dan benda jatuh dan benturan benda.

Masalah nonstruktural meliputi :

1. Perpindahan panas, seperti pada perangkat elektronik yang mengeluarkan panas seperti pada chip mikroprosesor komputer pribadi, mesin, dan sirip pendingin pada radiator.

2. Aliran fluida, termasuk rembesan melalui media berpori (seperti air yang merembes melalui bendungan tanah), kolam pendingin, dan sistem ventilasi udara seperti yang digunakan di arena olahraga, dll., aliran udara di sekitar mobil balap, perahu layar, dan papan selancar, dll.
3. Distribusi potensial listrik atau magnet, seperti pada antena dan transistor.

2.10. Software Solidworks

2.10.1. Definisi Solidworks

Solidworks adalah *software* desain yang digunakan untuk membuat sketsa 2D dan 3D, bagian dan rakitan 3D, dan gambar 2D (Planchard, 2021). Dengan solusi *Solidworks*, proses desain dan analisis struktur menjadi lebih mudah dan lebih sederhana. Setiap proses dilakukan oleh satu mesin dan satu perangkat lunak, sehingga tidak perlu memindahkan data dari satu desain atau perangkat lunak ke mesin atau perangkat lunak lainnya. Kehilangan data atau informasi dapat dihindari dengan proses ini, dan waktu analisis juga dapat dipersingkat (Mustaqiem & Nurato, 2020).

2.10.2. Fungsi Solidworks

Fungsi *Solidworks* adalah perangkat lunak yang digunakan sebagai alat bantu gambar teknik. *Solidworks* menyediakan solusi 3D komprehensif yang memungkinkan transformasi ide menjadi kenyataan, mengurangi batasan desain, dan mencapai tujuan yang diinginkan (Yudha dkk., 2015).

2.11. Software ANSYS



Gambar 2.6 ANSYS

(Sumber : Anonim, 2022)

Ansys adalah paket pemodelan elemen hingga tujuan umum untuk memecahkan berbagai masalah mekanis secara numerik. Masalah tersebut meliputi analisis struktur statis/dinamis (baik linier maupun non linier), masalah

perpindahan panas dan fluida, serta masalah akustik dan elektromagnetik (Meenakshi dkk., 2012). Tegangan teoretis dari tegangan tekuk dan kontak ditemukan secara manual dan kemudian dianalisis dalam perangkat lunak ANSYS. Ditemukan bahwa membandingkan dengan hasil manual, hasilnya mendekati atau mendekati. Oleh karena itu kami menyimpulkan bahwa Perangkat Lunak ANSYS dapat digunakan untuk tujuan analisis lainnya juga (Meenakshi dkk., 2012).

Ada tujuh jenis analisis struktural yang tersedia di ANSYS. Seseorang dapat melakukan jenis analisis struktural berikut. Masing-masing jenis analisis ini dibahas secara rinci sebagai berikut (Ganugapenta dkk., 2018).

- Analisis statis
- Analisis modal
- Analisis harmonik
- Analisis dinamik transien
- Analisis spektrum
- Analisis tekuk
- Analisis dinamis eksplisit

2.12. *Equivalent Stress (von-Mises Stress)*

Equivalent Stress adalah prediksi yang sangat baik untuk kegagalan material ulet yang terkena pembebanan statis, bolak-balik murni, geser, atau gabungan (Sonawan, 2014; Walidina dkk., 2022). *Equivalent Stress* adalah tegangan efektif atau ekuivalen untuk analisis tegangan 2-D dan 3-D. Untuk bahan ulet, tingkat tegangan dianggap aman, jika

$$\sigma_e \leq \sigma_Y$$

di mana σ_e adalah tegangan *von Mises* dan σ_Y adalah tegangan luluh material. Ini adalah generalisasi dari hasil 1-D (percobaan) ke situasi 2-D dan 3-D (Chen & Liu, 2014).

Tegangan von Mises didefinisikan oleh

$$\sigma_e = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (8)$$

di mana σ_1 , σ_2 dan σ_3 adalah tiga tegangan utama pada titik yang ditinjau dalam suatu struktur. Untuk soal 2-D, kedua tegangan utama pada bidang ditentukan oleh

$$\sigma_1^P = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (9)$$

$$\sigma_2^P = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (10)$$

Jadi, kita juga dapat menyatakan tegangan von Mises dalam bentuk komponen tegangan dalam sistem koordinat xy. Untuk kondisi tegangan bidang seperti berikut.

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_x + \sigma_y)^2 - 3(\sigma_x \sigma_y - \tau_{xy}^2)} \quad (11)$$

2.13. Deformation

Perubahan bentuk suatu benda sebagai hasil dari menerima gaya atau akibat operasinya disebut deformasi. Dalam mekanika teknik, perubahan suatu objek dari keadaan awal ke keadaan saat ini disebut deformasi. Yang dimaksud dengan "kondisi" adalah urutan posisi semua partikel pada benda (Ivañez dkk., 2017; Lubis dkk., 2020).

Rumus deformasi dapat diartikan sebagai berikut (Irawan, 2016).

$$\Delta l = \delta = \frac{F.L}{A.E} \quad (12)$$

Dimana :

F : Gaya (N)

L : Panjang mula-mula (mm)

A : Luas penampang (mm²)

E : Modulus Elastisitas (*Young's Modulus*)

2.14. Safety Factor

Faktor Keamanan (*Safety Factor*) merupakan faktor penentu yang digunakan untuk menilai kegagalan suatu struktur mesin (Shigley & Mitchell, 1984). Rumus untuk mendapatkan nilai *safety factor* sebagai berikut.

$$sf = \frac{\sigma_{yield\ strength}}{\sigma_{von}} \quad (13)$$

Dimana :

$\sigma_{yield\ strength}$: Tegangan *yield strength*

σ_{von} : Tegangan *von Mises*

Faktor keamanan awalnya adalah angka yang membagi *yield strength* suatu material untuk mendapatkan nilai *working stress* atau *design stress*. Desain teknik modern memberikan gambaran yang rasional, umumnya faktor keamanan, yang biasanya berkisar antara 1,25 hingga 4 (Juvinall & Marshek, 2012).

Dalam menentukan faktor keamanan (*safety factor*) suatu struktur yang akan dirancang dapat menggunakan aturan berikut (Mott, 2009).

Bahan-bahan ulet

1) Bahan-bahan yang tahan banting

- a) $sf = 1,25$ hingga 2,0 untuk merancang struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data desain.
- b) $sf = 2,0$ hingga 2,5 untuk merancang elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data desain.
- c) $sf = 2,5$ hingga 4,0 untuk desain struktur statis atau elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat material, analisis tegangan, atau lingkungan.
- d) $sf = 4,0$ atau lebih untuk desain struktur statis atau elemen mesin yang mengalami pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi material, sifat material, analisis tegangan, atau lingkungan.

2) Bahan-bahan yang rapuh

- a) $sf = 3,0$ hingga 4,0 untuk merancang struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data desain.
- b) $sf = 4,0$ hingga 8,0 untuk desain struktur statis atau elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat material, analisis tegangan, atau lingkungan.

Apabila nilai tegangan yang dihasilkan lebih besar dari nilai *yield strength*, desain tersebut dianggap gagal. Oleh karena itu, nilai faktor keamanan harus lebih dari 3 atau $sf > 3$. Kegagalan desain struktur dapat menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi melampaui batas kemampuan material (Gere & Timoshenko, 1997).

2.15. Material Plastik

2.15.1. PLA (*Polylactic Acid*)

PLA adalah filamen printer 3D yang lebih populer karena karakteristik umumnya, seperti kesederhanaan, ketersediaan, dan biodegradabilitas. Tidak berbau dan memiliki bau yang menyenangkan, karena keadaan alaminya, terbuat dari tebu, pati jagung, dan produk organik lainnya. Selain itu, suhu pencetakannya cukup rendah, karena filamen ini tidak mudah melengkung, dan alas pemanas tidak diperlukan dalam pencetakan (Duwa dkk., 2022).



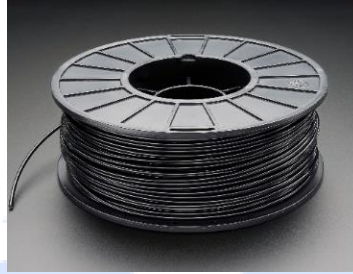
Gambar 2.7 Filamen PLA
(Sumber : Anonim, 2021)

PLA telah menjadi bahan yang banyak digunakan karena biaya produksinya yang rendah. Itu adalah bioplastik yang paling banyak digunakan kedua di dunia pada tahun 2010, meskipun itu bukan polimer komoditas. Beberapa kelemahan dalam aspek fisik dan pemrosesan teknologi ini telah mencegahnya digunakan secara luas. Dalam pencetakan 3D, PLA adalah bahan filamen plastik yang paling umum digunakan. Oleh karena itu, ini adalah bahan yang cocok untuk ini karena titik lelehnya yang rendah, kekuatan yang kuat, pemuaian termal yang minimal, daya rekat lapisan yang baik, dan ketahanan panas yang tinggi saat dianil. Dibandingkan dengan polimer pencetakan 3D lain yang umum digunakan, ketahanan panas PLA adalah yang terendah tanpa anil (Arockiam dkk., 2021; Duwa dkk., 2022).

2.15.2. ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*)

Acrylonitrile butadiene styrene disingkat ABS adalah filamen pencetakan 3D yang tahan terhadap suhu tinggi. Namun, PLA merupakan material yang lebih umum digunakan untuk aplikasi sehari-hari dan kasual, namun ABS memiliki karakteristik mekanis yang lebih baik. Selain itu, ABS lebih melengkung tetapi memiliki lebih banyak komplikasi selama pencetakan. Selanjutnya, ABS adalah

terpolimer yang dibuat melalui polimerisasi stirena, polibutadiena, dan akrilonitril. Proporsi yang memungkinkan meliputi 15–35% akrilonitril, 40–60% stirena, dan 5–30 % butadiena (Duwa dkk., 2022).



Gambar 2.8 Filamen ABS
(Sumber : G, 2023)

Beberapa kelemahan dari filamen ABS adalah membutuhkan ventilasi yang memadai sebelum digunakan. Selain itu, ABS yang telah dilelehkan menghasilkan uap yang beracun sekaligus berbau menyengat. Namun, ABS lebih unggul dari PLA meski memiliki beberapa keterbatasan. Karena kualitas materialnya yang unggul, ia dapat mentolerir suhu tinggi dan banyak tekanan. Manfaatkan untuk hal-hal yang sering Anda tangani, panaskan, atau jatuhkan (Cress dkk., 2021; Duwa dkk., 2022).

2.15.3. *Nylon*

Nylon adalah keluarga polimer sintetik yang disebut poliamida, dan itu adalah sebutan umum untuk kelompok ini. Bahan termoplastik dengan penampilan seperti sutra, nilon sering berasal dari minyak bumi dan dapat diproses dengan cara cair menjadi benang, film, atau bentuk lainnya. Nilon adalah filamen kuat yang dapat digunakan dalam produksi prototipe kerja, roda gigi, dan jenis komponen mekanis lainnya. Karena menyerap banyak kelembapan, mewarnai sebelum atau sesudah proses pencetakan sangat sederhana (Duwa dkk., 2022; Guessasma dkk., 2021).



Gambar 2.9 Filamen *Nylon*
(Sumber : Anonim, 2023)

Mirip dengan *ABS*, filamen nilon menuntut suhu tinggi untuk alas cetak dan nosel. Jika Anda tidak menggunakan tempat tidur berpemanas, Anda akan mengalami pelengkungan dan keluaran di bawah rata-rata. Fakta bahwa nilon harus dicetak pada suhu tinggi membuat bahan lebih sulit untuk dikerjakan, tetapi juga memberi bahan tingkat daya tahan dan ketahanan yang tinggi terhadap abrasi dan benturan (Duwa dkk., 2022).

2.16. Sifat Mekanik Material Plastik

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Material Plastik

Material	Density (g/cm ³)	Tensile strength (MPa)		Young's modulus (GPa)	Poisson's Ratio
		Yield	Ultimate		
PLA	1,29	44,8	50,1	3,76	0,36
ABS	1,05	40,7	41,4	2,10	0,35
NYLON	1,42	46,6	79,4	5,31	0,39

Sumber: Johnson & French (2018); Kotkar dkk. (2018); MatWeb (2023); Utomo dkk. (2019); Zolfagharian dkk. (2020)

Density atau massa jenis yaitu pengukuran massa per satuan volume suatu benda. Semakin padat suatu benda, semakin besar massa yang dimiliki setiap volumenya (Dearnı dkk., 2019).

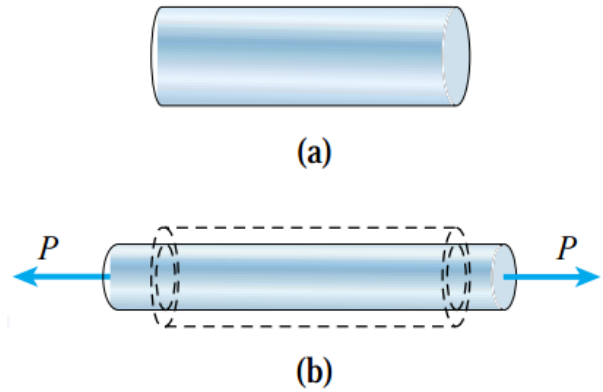
Yield strength atau kekuatan luluh yaitu ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastis (Bakri & Chandrabakty, 2006).

Ultimate strength atau kekuatan maksimum yaitu tegangan maksimum yang mungkin dialami suatu material (Pytel & Singer, 1997).

Young's modulus yaitu konstanta kesebandingan antara tegangan dan regangan (Irawan, 2016). Bila nilai *E* (*Young's Modulus*) semakin kecil ukurannya, semakin mudah untuk memanjangkan atau memendekkan material. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas suatu benda, maka semakin kecil pula regangannya, begitu pula sebaliknya (Dearnı dkk., 2019).

Poisson ratio yaitu perbandingan regangan transversal dengan regangan aksial. Regangan transversal merupakan perbandingan pengurangan luas terhadap luas awal atau perbandingan perluasan luas terhadap luas awal. Regangan aksial

adalah perbandingan pertambahan panjang terhadap panjang awal atau perbandingan pertambahan panjang terhadap panjang awal atau penurunan panjang terhadap panjang awal (Dearnii dkk., 2019).



Gambar 2.10 Pemanjangan aksial dan kontraksi lateral batang prismatik dalam keadaan tarik: (a) batang sebelum pembebanan, dan (b) batang setelah pembebanan. (Deformasi batang sangat berlebihan.)

(Sumber : Gere, 2003)

Ketika batang prismatik dibebani dalam keadaan tarik, pemanjangan aksial disertai dengan kontraksi lateral (yaitu, kontraksi normal terhadap arah beban yang diberikan). Perubahan bentuk ini digambarkan pada Gambar 2.10, dimana bagian (a) menunjukkan batang sebelum pembebanan dan bagian (b) menunjukkan setelah pembebanan. Pada bagian (b), garis putus-putus mewakili bentuk batang sebelum dibebani (Gere, 2003).