

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Prinsip Kerja Sistem Pneumatik dalam Pengereman

Sistem pneumatik adalah teknologi yang menggunakan udara bertekanan sebagai sumber energi untuk menghasilkan gerakan mekanis. Prinsip kerjanya didasarkan pada konversi energi dari udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor ke gerakan mekanis, yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan berbagai jenis mesin atau alat. Sistem pneumatik biasanya digunakan pada industri manufaktur, otomotif, dan peralatan otomasi untuk kontrol gerakan.

Pada dasarnya, udara bertekanan ini dikendalikan melalui katup-katup yang mengatur aliran udara untuk menghasilkan gerakan translasi atau rotasi pada aktuator. Salah satu keunggulan utama dari sistem pneumatik adalah kemampuannya untuk memberikan respon cepat dan efisiensi energi yang baik. Selain itu, sistem ini juga lebih aman digunakan dalam lingkungan industri yang mudah terbakar karena tidak menggunakan cairan hidrolik yang dapat menimbulkan risiko kebakaran[4] .



Gambar 2.1 Sistem pengereman penumatik

Sistem pneumatik sering digunakan pada kendaraan berat, terutama dalam sistem pengereman. Udara bertekanan diatur sedemikian rupa untuk mengontrol mekanisme pengereman pada truk dan bus, yang memerlukan respons pengereman yang kuat dan andal. Penggunaan sistem ini dalam berbagai aplikasi industri dan otomotif menunjukkan pentingnya pneumatik dalam menjaga efisiensi dan

keselamatan operasional[5].

2.2 Dasar Perencanaan

2.2.1 Software Inventor

Autodesk Inventor adalah perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD) yang berfokus pada desain teknik dan pembuatan gambar. Aplikasi ini memungkinkan anda membuat model 3D yang akurat dan detail dari berbagai produk seperti mesin, komponen, dan perangkat, serta membuat gambar teknis yang diperlukan untuk produksi[6].

Aplikasi inventor ini di digunakan untuk perancangan awal alat simulator sistem pengereman kendaraan berat. Aplikasi bisa di lihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Aplikasi Inventor

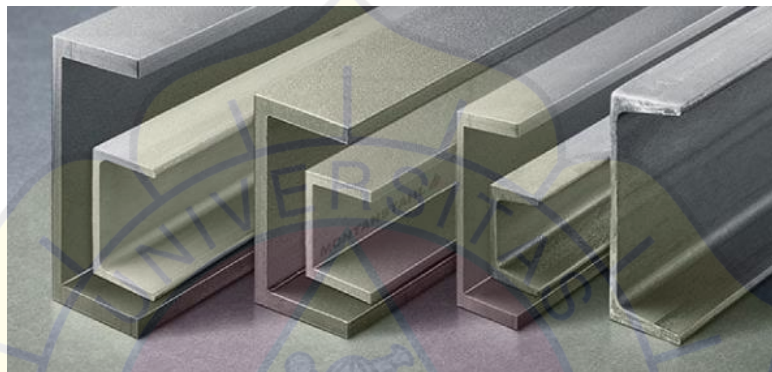
2.3 Sitem Rem Udara pada Emergency Brake

Pada kendaraan berat, rem darurat sering menggunakan sistem rem udara yang memanfaatkan aliran udara bertekanan melalui katup-katup untuk mengontrol pengereman. Udara bertekanan ini menggerakkan komponen rem untuk menekan kampas rem dan menghentikan kendaraan[7].

2.4 Komponen Utama Simulator Pengereman Kendaraan Berat

2.4.1 Besi UMP

Besi UNP merupakan besi jenis sambungan atau terusan yang bentuknya merupai huruf U. Tidak heran apabila besi UNP juga kerap dikenal dengan U-Channel, kanal U ataupun profil U. Bisa di liat pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Besi UMP

2.4.2 Rubber Sheet

Karet peredam adalah material yang digunakan untuk meredam atau mengurangi getaran, suara bising, gesekan, atau gaya eksternal pada suatu struktur. Berbagai industri dan aplikasi memanfaatkannya untuk mengurangi efek negatif dari getaran, seperti dalam konstruksi bangunan guna meredam gempa, di pintu untuk mengurangi gesekan, dan pada mesin untuk mengurangi getaran dan kebisingan[8]. Yang bisa digambarkan pada gambar 2.4 diatas ini.



Gambar 2.4 Rubber sheet

2.4.3 Motor Dinamo Listrik

Motor dinamo listrik merupakan alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanis atau gerak. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan di rumah juga di industri[9]. bisa dilihat pada gambar 2.5 di bawah ini, Dan dalam perancangan ini daya motor dapat ditentukan dengan persamaan, yaitu :

$$P = T \times \omega$$

dimana :

P = Daya motor (watt)

T = Torsi (Nm) r = Jari-jari (m)

ω = Kecepatan keliling (rad/s)

Berikut bisa di liat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.5 Motor Listrik

2.4.4 Pully

Pulley adalah sebuah alat mekanis yang digunakan untuk mentransmisikan daya antara dua poros menggunakan sabuk atau rantai. Fungsinya meliputi mentransmisikan daya dari penggerak ke komponen yang digerakkan, mereduksi atau mempercepat putaran. Bisa di liat pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Pully

2.4.5 Belt

Belt pada sistem pulley adalah komponen fleksibel yang berbentuk melingkar tanpa ujung, digunakan untuk menghubungkan dua pulley atau lebih sehingga daya dapat ditransmisikan dari satu poros ke poros lainnya. Belt ini memungkinkan transmisi daya antara pulley dengan jarak atau posisi yang berbeda serta memfasilitasi perubahan kecepatan dan torsi[10]. Bisa di lihat pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2. 7V-Belt

2.4.6 *Axle (Gardan)*

Poros gardan (disebut gardan dalam bahasa Indonesia) merupakan komponen penting pada sistem transmisi suatu kendaraan. Poros merupakan bagian yang meneruskan putaran dari gearbox ke roda mobil. Perannya adalah menyalurkan tenaga dari mesin ke roda untuk menggerakkan kendaraan. Poros gandar biasanya dihubungkan dengan diferensial, yang memungkinkan roda berputar dengan kecepatan berbeda-beda tergantung putaran kendaraan[11]. Bisa di lihat pada gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8 Gardan

2.4.7 *Servo Rem*

Master rem merupakan bagian penting dari sistem pengereman mobil, yang bertugas untuk mentransfer tekanan yang dihasilkan saat pedal rem ditekan ke sistem pengereman mobil. Sebagai master silinder rem, fungsi utamanya adalah mengubah gaya mekanis yang dihasilkan saat pedal rem ditekan menjadi tekanan hidrolik.



Gambar 2.9 Servo Rem

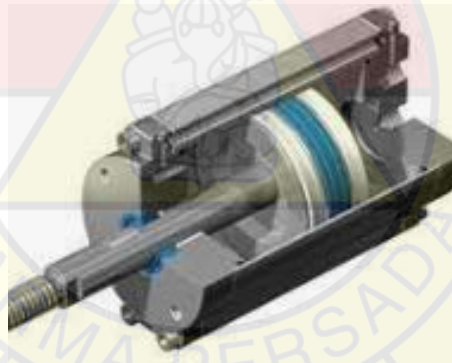
Tekanan ini kemudian di distribusikan ke seluruh sistem pengereman untuk memperlambat atau menghentikan kendaraan. Bisa di lihat pada gambar 2.9 di atas ini.

2.5 Komponen *Emergency Braking*

Adapun komponen utama *emergency braking* yaitu antara lain:

2.5.1 Pneumatik

Pneumatik adalah sistem yang menggunakan udara bertekanan sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan komponen mekanik. Sistem ini sering digunakan dalam berbagai industri karena kemudahan pengontrolan, kecepatan reaksi, dan efisiensi energi. Sistem pneumatik pada kendaraan umumnya digunakan dalam sistem pengereman udara pada kendaraan berat seperti truk dan bus, di mana udara bertekanan digunakan untuk mengaktifkan kampas rem guna menghentikan laju kendaraan[12]. dapat di lihat pada gambar 2.10 dibawahini:



Gambar 2.10 Pnenumatik

Pada dasarnya, udara bertekanan ini dikendalikan melalui katup-katup yang mengatur aliran udara untuk menghasilkan gerakan translasi atau rotasi pada aktuator. Salah satu keunggulan utama dari sistem pneumatik adalah kemampuannya untuk memberikan respon cepat dan efisiensi energi yang baik. Selain itu, sistem ini juga lebih aman digunakan dalam lingkungan industri yang mudah terbakar karena tidak menggunakan cairan hidrolik yang dapat menimbulkan risiko kebakaran[13] .

2.5.2 Kompresor

Kompresor adalah mesin yang digunakan untuk memampatkan udara atau

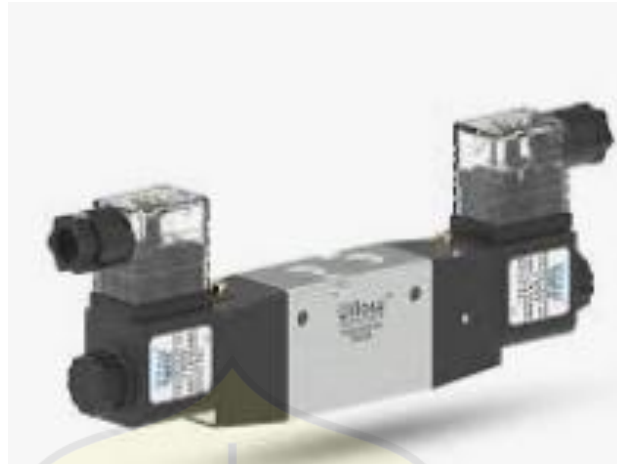
gas, meningkatkan tekanan, dan mengubah energi mekanis menjadi energi pneumatik. Prinsip kerjanya melibatkan proses penghisapan udara dari lingkungan, memampatkannya, dan kemudian mengalirkannya untuk aplikasi yang membutuhkan tekanan tinggi. Kompresor udara digunakan dalam berbagai industri, seperti sistem kontrol pneumatik, alat-alat mesin, dan proses pendinginan. Jenis kompresor yang umum termasuk kompresor reciprocating dan kompresor rotari[14]. Yang dapat dilihat pada gambar 2.11 di bawah ini:



Gambar 2.11 Kompresor

2.5.3 Solenoid Valve

Solenoid adalah perangkat elektromekanis yang digunakan untuk mengontrol aliran cairan atau gas dalam sistem. Ketika listrik diberikan ke kumparan solenoid, medan magnet yang dihasilkan menarik plunger atau piston, yang mengubah status katup (membuka atau menutup). Solenoid valve banyak digunakan dalam sistem otomasi, HVAC (pemanas, ventilasi, dan pendingin udara), dan sistem pneumatik, di mana kontrol otomatis diperlukan untuk mengatur aliran fluida[15]. yang dapat dilihat pada gambar 2.12 di bawah ini:



Gambar 2.12 Solenoid Valve

2.5.4 Rubber Pengganjal Ban Mobil

Ganjalan ban, atau *wheel chock*, merupakan perangkat keamanan yang digunakan untuk menahan pergerakan roda kendaraan, terutama pada permukaan yang miring. Prinsip kerja ganjalan ban didasarkan pada gesekan antara bahan ganjal, yang umumnya terbuat dari karet atau logam, dengan permukaan jalan dan ban kendaraan. Gesekan ini menghasilkan gaya resistensi yang mencegah kendaraan bergerak. Ganjalan ban sangat penting dalam industri otomotif, transportasi, dan konstruksi untuk mencegah pergerakan tak terduga kendaraan, yang berpotensi menyebabkan kecelakaan[8]. yang dapat dilihat pada gambar 2.13 di bawah ini:

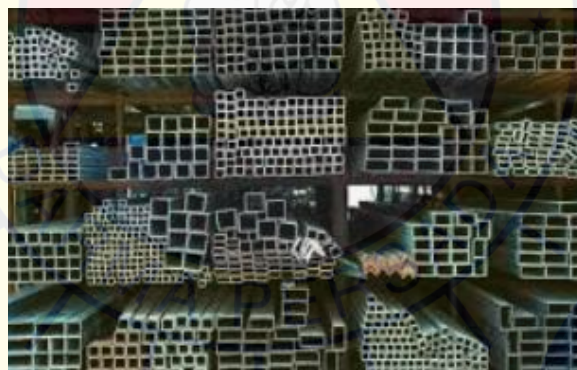


Gambar 2.13 Rubber Pengganjal Ban

Salah satu aspek penting dari desain ganjalan ban adalah bentuk dan ukuran yang sesuai dengan tipe dan ukuran roda kendaraan yang ditahan. Ukuran yang salah dapat mengurangi efektivitas ganjal tersebut. Permukaan ganjal seringkali dibuat bergerigi atau memiliki sudut tertentu untuk meningkatkan cengkeraman dan menciptakan gaya gesek maksimum.

2.5.5 Besi hollow

Besi hollow adalah material konstruksi berbentuk kotak atau persegi panjang yang memiliki rongga di bagian tengahnya, menyerupai pipa tetapi dengan bentuk lebih persegi. Material ini sering digunakan dalam pembuatan rangka struktural seperti tiang, balok, dan kolom karena kekuatannya yang baik dan kemudahan dalam pemasangan. Besi hollow tersedia dalam berbagai ukuran dan jenis, seperti besi hollow galvanis yang tahan terhadap karat. Penggunaan besi hollow meliputi rangka plafon, pagar, kanopi, hingga dinding partisi dalam konstruksi bangunan modern[16]. Dapat kita lihat pada gambar 2.14 dibawah ini:



Gambar 2.14 Besi Hollow

2.5.6 Bearing

Berdasarkan teori tribologi, bearing bekerja untuk mengurangi gaya gesek melalui penggunaan elemen gelinding (ball atau roller). Hal ini mengurangi energi yang hilang akibat gesekan dan meningkatkan efisiensi sistem mekanik secara keseluruhan. Penggunaan dalam Industri: Bearing digunakan pada berbagai mesin industri, termasuk sistem pengereman otomatis berbasis pneumatik, yang memerlukan presisi dan keandalan dalam operasinya[17]. Dapat kita lihat pada

gambar 2.15 di bawah ini:



Gambar 2.15 Bering

Merupakan komponen mekanik yang berfungsi untuk mengurangi gesekan antara dua komponen yang bergerak relatif satu sama lain, biasanya antara poros dan rumah poros (bearing housing). Terdapat beberapa jenis bearing, seperti ball bearing, roller bearing, dan needle bearing, yang digunakan sesuai dengan beban dan aplikasi spesifik.

1. Fungsi Utama Bearing:

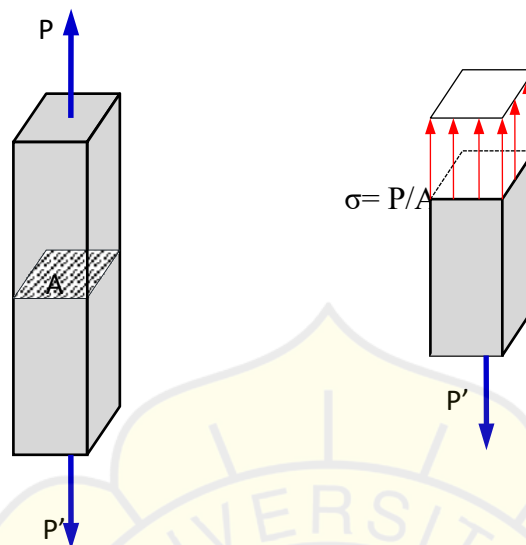
- Menopang beban poros yang berputar, baik beban radial (tegak lurus terhadap poros) maupun beban aksial (searah dengan poros).
- Mengurangi gesekan pada gerakan rotasi atau linear dengan meminimalkan kontak langsung antar permukaan.

2.6 Teori Tegangan

Secara umum tegangan dapat diuraikan menjadi :

2.6.1 Tegangan Normal Akibat Beban Aksial

Pembebanan aksial merupakan jenis pembebanan yang memiliki arah tegak lurus terhadap penampang. Pembebanan jenis ini biasanya berbentuk beban tarik maupun beban tekan. Salah satu contoh kasus pembebanan aksial dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Tegangan Beban

Pembebanan aksial ini mengakibatkan terjadinya tegangan normal.[18] Untuk menghitung besarnya tegangan normal yang terjadi akibat pembebanan aksial tersebut dapat digunakan persamaan [2.1]

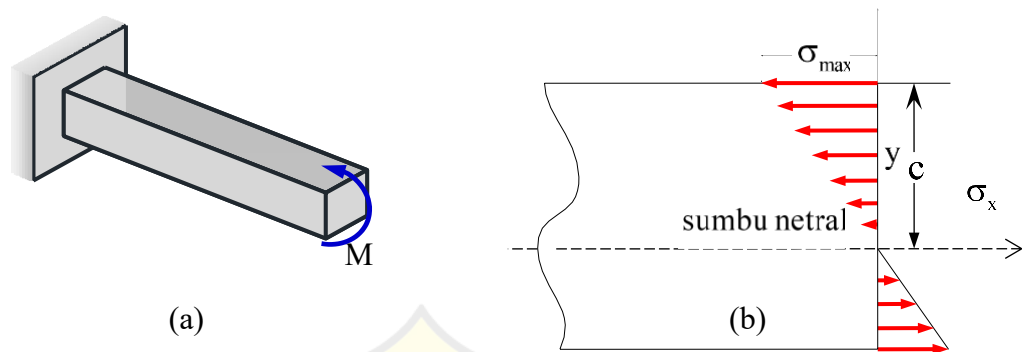
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad [2.1]$$

Di mana:

P = Gaya aksial, A = Luas penampang

2.6.2 Tegangan Normal Akibat Momen Lentur

Perbedaan pembebanan aksial dan momen lentur adalah pada pembebanan aksial tegangan yang terjadi adalah murni tarik atau tekan, sedangkan akibat momen lentur tegangan yang terjadi adalah keduanya yaitu tarik dan tekan. Salah satu contoh kasus pembebanan akibat momen lentur dan bentuk distribusi tegangan yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.17.



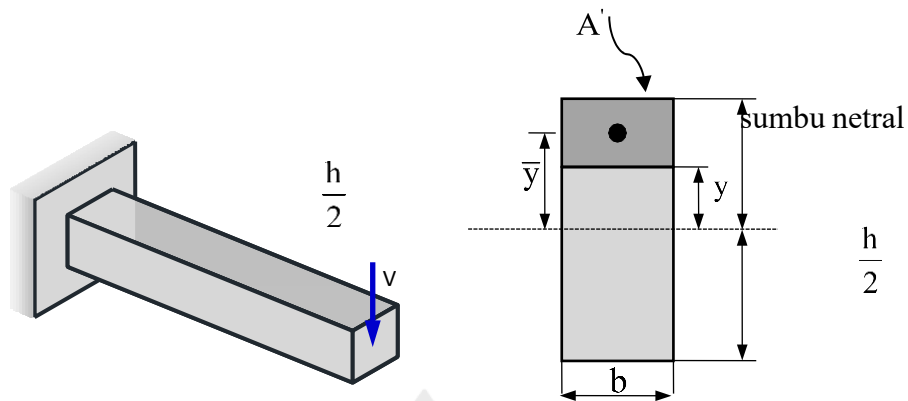
Gambar 2.17 (a) Pembebanan Momen Lentur, (b) Tegangan Akibat Momen Lentur

Untuk menghitung tegangan yang terjadi akibat momen lentur, maka dapat digunakan persamaan [2.2]

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad [2.2]$$

2.6.3 Tegangan Akibat Gaya Geser

Pada gambar 2.18 dibawah merupakan salah satu contoh untuk pembebanan gaya geser.



Gambar 2.18 Tegangan Geser

Untuk menghitung tegangan yang terjadi akibat gaya geser, maka dapat digunakan persamaan [2.3].

$$: Q = \int_{A'} y dA' = \bar{y} A'$$

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} \quad [2.3]$$

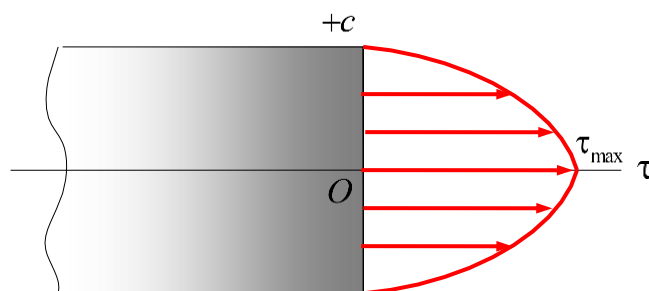
Keterangan : V = Gaya geser

Q = Momen pertama

I = Momen inersia penampang

t = tebal

Distribusi tegangan geser yang terjadi akibat gaya geser diperlihatkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Distribusi Tegangan Akibat Gaya Geser

2.7 Teori Kegagalan

2.7.1 Teori Tegangan Normal Maksimum

Teori ini menyatakan bahwa material mengalami kegagalan apabila tegangan utama yang terjadi pada material tersebut sama atau lebih besar dari kekuatan material. Tegangan utama tersebut dapat berupa tegangan tarik maupun tekan[18]. Teori tegangan normal maksimum diterapkan untuk menentukan faktor keamanan dengan cara membandingkan tegangan normal pada yield point dari material dengan tegangan normal maksimum akibat pembebanan seperti yang terlihat pada persamaan [2.4].

$$F_s = \frac{\sigma_{yp}}{\sigma_{max}} \quad [2.4]$$

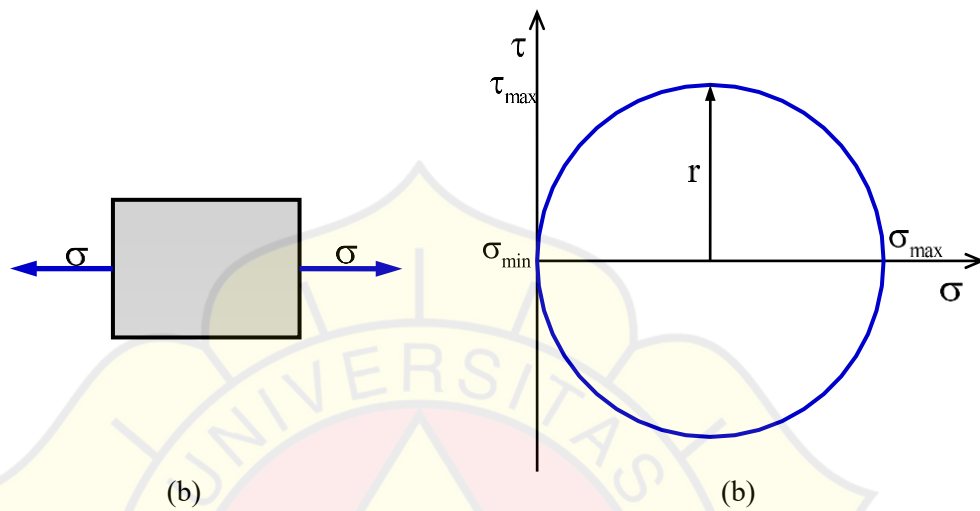
2.7.2 Teori Tegangan Geser Maksimum

Pada dasarnya material yang memiliki sifat ulet mengalami kegagalan akibat terjadinya tegangan geser. Hubungan antara *safety factor* dengan tegangan geser maksimum dapat dilihat pada persamaan [2.5] .

$$F_s = \frac{\tau_{yp}}{\tau_{max}} \quad [2.5]$$

Lingkaran mohr seperti yang diperlihatkan gambar mengindikasikan bahwa sebuah elemen yang mengalami tegangan tarik memiliki tegangan geser maksimum yang besar nilainya adalah setengah dari tegangan normal maksimum seperti terlihat pada persamaan (2.6). Tegangan geser tersebut terjadi pada saat arah elemen 45° terhadap sumbu τ yang dapat dilihat pada gambar 2.20:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sigma_{\max} \quad [2.6]$$



Gambar 2.20 (a) Tegangan Tarik pada Elemen
(b) Lingkaran Mohr Akibat Pembebanan Tarik

Dalam ilmu material diketahui bahwa tegangan geser pada *yield point* sama dengan setengah dari tegangan normal pada *yield point* seperti terlihat pada persamaan [2.6].

$$\tau_{yp} = \frac{\sigma_{yp}}{2} \quad [2.6]$$

Persamaan 2.6 dapat disubstitusikan kedalam persamaan 2.7 sehingga menjadi :

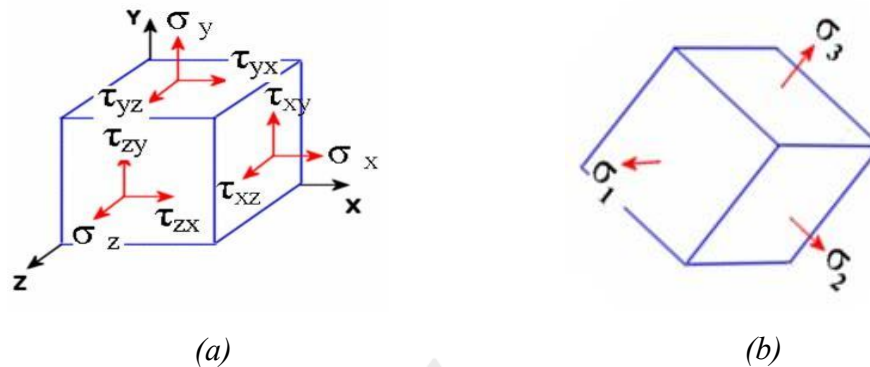
$$F_s = \frac{0.5\sigma_{yp}}{\tau_{max}} \quad [2.7]$$

2.7.3 Teori Distorsi Energi

Komponen struktur akan aman selama energi distorsi persatuan volume akibat pembebanan lebih kecil dari energi distorsi persatuan volume dari spesimen uji tarik pada kondisi luluh yang dapat dilihat pada persamaan [2.8].

$$u_d < u_{yp} \quad [2.8]$$

Komponen struktur akan aman selama energi distorsi persatuan volume akibat pembebanan lebih kecil dari energi distorsi persatuan volume dari spesimen uji tarik pada kondisi luluh. Tegangan Von Mises adalah kombinasi dari semua tegangan (tegangan normal dalam tiga arah , tegangan geser dalam tiga arah) yang berada pada titik tertentu. bisa di lihat pada gambar 2.21:



Gambar 2.21 (a) Tegangan yang Dinyatakan Dalam Enam Komponen

(b) Tegangan yang Dinyatakan Dalam Tiga Komponen Utama

Maka persamaan tegangan von mises [2.9]:

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{0.5 \times [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3 \times (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad [2.9]$$

Jika tegangan von mises ditampilkan hanya pada tegangan normal utama makarumusnya adalah sebagai berikut[2.10], [2.11]:

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{0.5 \times [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3 \times (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad [2.10]$$

$$\text{Factor of safety } F_s = \frac{\sigma_{\text{ijin}}}{\sigma_{\text{von mises}}} \quad [2.11]$$

2.8 Hipotesis Penelitian

Implementasi sistem pengereman darurat berbasis pneumatik pada kendaraan berat dapat meningkatkan efektivitas pengereman, terutama dalam situasi darurat, dibandingkan dengan sistem pengereman hidrolik konvensional. Hal ini diharapkan mampu mengurangi jarak henti kendaraan dan meminimalisir potensi kecelakaan.