

RANCANG BANGUN RANGKAIAN HIDROLIK PADA HYDROPNEUMATIC BRAKE SYSTEM

Pardina Prahendrik Triawan¹, Ardyanto Darmanto², Dedy Pradigdo³
Jurusan Teknik Otomotif Kendaraan Tempur, Poltekad Kodiklat Angkatan Darat
Poltekad Kodiklatad Ksatrian Pusdik Arhanud PO BOX 52 Malang
Email: hendriktriawan045@gmail.com

ABSTRAK

Kendaraan taktis Komodo merupakan kendaraan taktis bermesin *diesel* NEF N40 dengan 4 buah silinder segaris DOHC 16 valve *common rail* dengan *Turbocharger after cooled*. Kendaraan taktis komodo dilengkapi dengan persenjataan utama rudal Mistral. Jalan yang dilewati saat melaksanakan tugas pokok sering melewati tanjakan dan turunan yang mengakibatkan sistem pengereman menjadi lemah dan sering terjadi kecelakaan. Hal tersebut mengakibatkan kerugian material maupun personil. Untuk menghindari hal tersebut diperlukan sistem pengereman yang mampu menahan berat dan torsi roda rantis komodo yang besar. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui prinsip-prinsip perancangan kerja dari rangkaian hidrolik *hydropneumatic brake system* serta untuk mengetahui tekanan fluida pada rangkaian *hidrolik hydropneumatic brake system*.

Pada rancang bangun ini, penulis membuat alat peraga pembelajaran praktek atau *trainer hydropneumatic brake system* yang bertujuan untuk bisa lebih memahami tentang sistem pengereman *hydropneumatic brake system*. Karena pada rantis Komodo dengan berat 7,8 ton yang telah diproduksi oleh PT. Pindad dengan menggunakan sistem pengereman *hydropneumatic*, maka penulis merencanakan dan menentukan master silinder atas, master silinder roda dan *caliper* yang di pakai pada *hydropneumatic brake system* agar sesuai dengan berat dan spesifikasi kendaraan taktis komodo khususnya pada sistem hidroliknya. Kanvas rem tetap ditekan menggunakan minyak rem dengan cara udara bertekanan dari tangki udara kemudian di salurkan ke master rem yang diatur oleh *foot brake valve*. Dari *foot brake valve* ini terdapat katup yang mengatur udara bertekanan untuk menghindari terjadinya penguncian pada kendaraan taktis komodo.

Kata kunci : Kendaraan taktis Komodo, *Hydropneumatic brake system*, Hidrolik.

ABSTRACT

The Komodo tactical vehicle is a NEF N40 diesel engine vehicle with 4 cylinders in line DOHC16-valve common rail with Turbocharger after cooled. The Komodo tactical vehicle equipped the Mistral missile. The passed road while carrying out the main task often passes off-roads resulting in a weak braking system and make accidents. This makes in material and personnel losses. So the braking system is needed to withstand the weight and torque of the large Komodo tactical vehicle wheels. The purpose of this research is to determine the working design principles of the hydropneumatic brake system as well as to determine the fluid pressure in the hydraulic hydropneumatic brake system.

In this design, the author makes a teaching tool for practicing or hydropneumatic brake system trainers to understand the hydropneumatic brake system. Because the 7,8 ton Komodo tactical vehicle has been produced by PT. Pindad using the hydropneumatic braking system, the author plans and determines the upper master cylinder, the wheel master cylinder and the caliper used in the hydropneumatic brake system to match the weight and specifications of the Komodo tactical vehicle, especially in its hydraulic system. The brake canvas is still pressed using brake fluid with pressurized-air from the air tank then transmitted to the brake master is set by the foot brake valve. From the foot brake valve, a valve regulates pressurized-air to avoid locking on Komodo tactical vehicles.

Keywords: Komodo tactical vehicles, Hydropneumatic brake system, Hydraulic.

Torsi roda adalah tenaga roda untuk menggerakkan, menarik atau mengerem suatu kendaraan. Satuan untuk torsi di internasional adalah feet/lbs, feet-pounds atau Newtonmeter (Nm). Torsi dihasilkan dari jarak dan kekuatan dan untuk menghitungnya dengan mengkalikan gaya kendaraan saat terjadi pengereman dengan

jari-jari roda kendaraan, kemudian di kalikan dengan koefisien gesek ban. Untuk mencari torsi roda terlebih dahulu mencari jarak pengereman kemudian gaya rem roda (F_{ran}). Kemampuan sistem rem dapat ditentukan berdasarkan panjang jarak yang dicapai mulai pengereman bekerja sampai kendaraan berhenti. Proses pengereman adalah dari saat pengemudi menginjak pedal rem, hingga terjadi perlambatan atau kendaraan berhenti sampai pedal rem dilepas lagi. Dimana jarak pengereman dapat di hitung dengan rumus :

$$S = \frac{V^2}{2 \cdot e \cdot g}$$

Dimana :

V = Kecepatan kendaraan (m/det).

S = Jarak pengereman (m).

g = Gravitasi (9,81 m/det²).

e = Efisiensi (0,7).

(Sumber : Sularso,1979: 88).

Kemudian untuk mencari gaya rem roda (F_{ran}) apabila energi kecepatan mengalami perlambatan hingga kecepatan nol sama dengan kerja rem ke empat roda maka dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_{ran} = \frac{W \cdot V^2}{(2 \cdot g) \cdot (d/D) \cdot S \cdot 4}$$

Dimana :

W = Berat kendaraan (kgf).

V = Kecepatan kendaraan (m/det).

S = Jarak pengereman (m).

g = Gravitasi (9,81 m/det²).

d = Diameter drum tromol (m).

D = Diameter roda (m).

4 = Jumlah roda

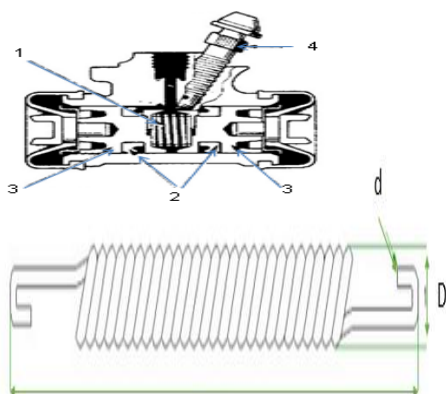
(Sumber : Sularso,1979: 86)

Maka untuk mencari torsi roda adalah sebagai berikut :

$$T_{tr} = \mu \cdot F_{ran} \cdot r_d$$

Dimana :

T_r = Torsi Roda (Nm).



F_{ran} = Gaya rem roda (N).

r_d = Jari-jari roda (m).

μ_b = Koefisien gesek ban (0,9)

(Sumber : R.S. Khurmi, 1980 : 83)

Tekanan minyak rem yang dibutuhkan untuk menekan sepatu rem dapat dihitung dengan rumus turunan dari rumus torsi sebagai berikut :

$P_1 =$

$$\frac{T_r}{\mu \cdot c \cdot r_{tr}^2 (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)}$$

Dimana :

P_1 = Tekanan minyak rem (N/m²).

T_r = Torsi roda (Nm).

μ = Koefisien gesek (0,4).

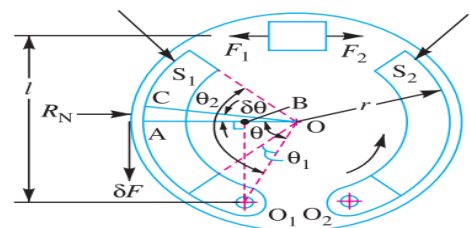
c = Lebar kanvas rem.

r^2 = Jari-jari kanvas rem (m).

θ_1 = Sudut engsel dan ujung kanvas rem (25).

θ_2 = Sudut kanvas rem (125).

(Sumber : R.S. Khurmi,1980: 916).



Gambar 2. Gaya yang bekerja pada rem tromol

(Sumber : R.S. Khurmi,1980 : 916)

Keterangan :

l = Jarak engsel dan silinder roda (m).

Q_1 = Momen engsel kiri (N/m).

Q_2 = Momen engsel kanan(N/m).

S_1 = Kanvas kiri.

S_2 = Kanvas kanan.

5.2 Silinder roda

Bagian besar silinder roda adalah *piston*, *piston cup*, pegas dan silinder *body*. Silinder roda adalah komponen yang mendorong sepatu rem dengan tekanan hidrolik dari master silinder ke sepatu rem dan mengakibatkan gesekan antara kanvas rem yang menempel di sepatu rem dan tromol, sehingga kendaraan akan berhenti.

Gambar 3. Bagian silinder roda
(Sumber : Toyota, 1961 : 4-16)

Keterangan :

1. *Compresion speering*
2. *Piston cup.*
3. *Piston.*
4. *Bleeder plug.*

Cara kerja silinder roda :

Bagian kanan hidrolik menekan *piston cup*, maka piston akan tertekan kearah luar dikarenakan ujung yang lain dari piston ini berhubungan dengan sepatu rem, maka sepatu rem akan tertekan keluar sehingga dapat menekan tromol rem. Jika tekanan pedal rem dilepaskan, piston akan kembali keposisi semula karena adanya tekanan pegas pada sepatu rem. Pada tiap-tiap silinder roda dilengkapi dengan sebuah baut pembuang angin (*bleeder plug*) yang berfungsi untuk membuang angin yang berada pada sistem saluran minyak rem.

Dari rumus tekanan hidrolik yang perlukan pada luas penampang master silinder bawah dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_{sr} = \frac{F_{ran}}{P_1}$$

Untuk menghitung dimensi silinder roda bawah dengan rumus sebagai berikut :

$$A_{sr} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{sr}^2$$

Maka,

$$D_{sr}^2 = \frac{A_{sr}}{\frac{\pi}{4}}$$

Dimana :

D_{sr} = Diameter silinder roda (m)

A_{sr} = Luas penampang silinder roda bawah (m²)

P_1 = Tekanan minyak rem (N/m²)

T_r = Torsi Roda (Nm)

(sumber : Sularso, 1979 : 87)

5.3 Pegas pengembali

Pada perencanaan ini pegas yang direncanakan merupakan pegas yang menghubungkan antara rem sepatu bawah dan atas yang di hubungkan dengan pegas tarik. dari pegas tekan. Rumus untuk menentukan pegas adalah sebagai berikut :

$$S_{ut} = \frac{A}{d_m}$$

(Sumber : J . E Sigley, 2001 : 10)

Persamaan pendekatan antara kekuatan menyerah dan kekuatan akhir dalam Tarik, didapat :

$$S_y = 0,75 \cdot S_{ut}$$

(Sumber : J . E Sigley, 2001 : 12)

Dengan menggunakan teori energy distorsi , didapat :

$$S_{sy} = 0,577 \cdot S_y$$

(Sumber : J . E Sigley, 2001 : 12)

Indeks pegas adalah :

$$C = \frac{D}{d}$$

(Sumber : J . E Sigley, 2001 : 3)

Maka factor perkalian tegangan geser adalah:

$$K_s = 1 + \frac{0,5}{C}$$

(Sumber : J . E Sigley, 2001 : 3)

Sehingga F_{max} didapat dengan menggantikan tegangan geser dengan kekuatan mengalah puntir, didapat :

$$F_{max} = \frac{S_{sy} \cdot \pi \cdot d^3}{8 \cdot K_s \cdot D}$$

(Sumber : J . E Sigley, 2001 : 13)

Dimana :

S_{ut} = Kekuatan pegas (Mpa)

A = Konstanta titik potong pegas

d = Diameter kawat (mm)

D = Diameter pegas (mm)

m = Kemiringan garis pada pegas (0,192)

S_y = Persamaan kekuatan menyerah dan kekuatan Akhir (Mpa)

S_{sy} = kekuatan menyerah puntiran (Mpa)

C = Indeks pegas

K_s = Faktor perkalian tegangan geser.

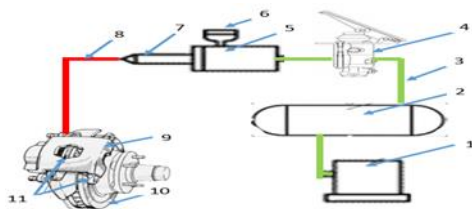
F_{max} = Gaya tarik maksimal pegas (N)



Gambar 4. Pegas tarik (Sumber : J . E Sigley 2001 : 7)

5.4 Rem cakram

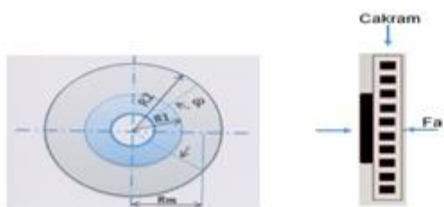
Rem cakram banyak digunakan di samping penggunaan rem tromol karena mudah perawatannya dan mudah melepas panas saat pengereman. Cakram rem di pasang pada poros roda yang dapat berputar di antara kanvas rem. Saat pengereman maka tekanan hidrolik dari silinder maser rem akan menekan *piston*, dan *piston* mendorong kanvas rem untuk menekan cakram sehingga terjadi gesekan dan pengereman.



Gambar 5. Disc Brake Circuit System.
(Sumber. Manual book mitsubishi, hal 87)

Keterangan :

1. Compresso
2. Tangki udara
3. Pipa udara.
4. Foot brake valve.
5. Booster rem
6. Reservoir.
7. Master cylinder.
8. Pipa hidrolik.
9. Caliper.
10. Disc/cakram.
11. Kanvas rem.



Gambar 6. Gaya-gaya Bekerja Pada Rem Cakram

(Sumber : Ir Sularso MSME etc, 1987 : 91)

Keterangan :

Fa = Gaya rem pada sisi cakram (N).

R_m = Jari-jari pusat cakra dengan pusat

kanvas (m).

R_1 = Jari-jari dalam kanvas (m).

R_2 = Jari-jari cakram (m)

Sehingga gaya pengereman cakram (F_{ck}) dapat di hitung dengan persamaan sebgai berikut :

$$T_r = \mu_{kv} \cdot F_{ck} \cdot K_1 \cdot r_m$$

Dimana,

$$K_1 = \frac{2 \cdot \phi}{3 \sin (\phi / 2)} \left[1 - \frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2)^2} \right]$$

Maka,

$$F_{ck} = \frac{T_r}{\mu_{kv} \cdot K_1 \cdot r_m}$$

(Sumber : Sularso, 1979: 91)

Mencari luas penampang dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_{ck} = \frac{F_{ck}}{P_1}$$

(Sumber : Prof. Emeritus, Sears Zemansky, 1994, Fisika Universitas 1, Jakarta, Hal 297)

Mencari diameter piston cakram dengan persamaan berikut :

$$D_{ck}^2 = \frac{A_{ck}}{\pi / 4}$$

(Sumber : Sularso, 1979: 87)

Keterangan :

F_{ck} = Gaya tekan silinder roda (N)

A_{ck} = Luas penampang piston cakram (m^2)

P_1 = Tekanan minyak rem (N/m^2)

D_{ck} = Diameter *piston* cakram (m)

r_{ck} = Jari-jari cakram (m)

K_1 = Keausan lapisan cakram (25°)

T_r = Torsi roda (Nm)

5.5 Jenis Pipa Hidrolik

Sistem hidrolik mempunyai dua jenis pipa yang digunakan, pemilihan pipa hidrolik tergantung dari kontruksi dan tempat yang akan digunakan pada sistem hidrolik tersebut. Jenis pipa dalam sistem hidrolik yaitu :

5.5.1 Pipa kaku. Pipa baja berlapis (*galvanis*) adalah paling banyak digunakan pada instalasi pipa hidrolik terutama pada sistem yang bertekanan tinggi dan statis. Pipa baja ini dapat

dibengkokkan menjadi beberapa bentuk belokan. Tekanan sistem dan ukuran pipa sangat menentukan. Penggunaan pipa yang berukuran terlalu kecil, aliran terbatas dan timbul panas, dan akhirnya akan mengakibatkan rugi-rugi tenaga. Sedangkan pemakaian pipa yang terlalu besar menjadi tidak praktis dan boros.

5.5.2 Pipa *fleksibel*. Pipa *fleksibel* yang digunakan pada sistem hidrolik terbuat dari bahan-bahan lapisan *elestomerik*, *fiber* dan anyaman atau tenunan kawat. Pipa *fleksibel* mempunyai berbagai ukuran dan batas-batas tekanan, lapisan pipa *fleksibel* bagian paling dalam harus cocok dengan fluida yang dialirkan. Perencanaan jenis dan ukuran pipa hidrolik pada rangkaian hidrolik *hydropneumatic brake system* yang diperlukan dapat dilihat dari tabel pemilihan pipa hidrolik.



Gambar 7. Pipa Hidrolik
(Sumber : Drs Sugi Hartono, 1988 : 4-14)

5.6 *Booster rem/master cylinder*

Suatu komponen pada sistem rem *hydropneumatic* yang berfungsi untuk membantu pengemudi dalam memperingan pijakan pedal rem pada saat pengereman. Prinsip kerja dari *booster rem* adalah ketika pedal rem di *foot brake* di injak udara akan masuk ke *booster rem*. Cara kerjanya dan fungsi dari *booster rem* untuk mengubah gerak pedal rem dari tekanan *pneumatic* ke dalam tekanan hidrolik. Makin banyak tekanan udara yang menekan maka tekanan yang menekan *booster rem* makin besar yang kemudian menekan master silinder. Sehingga besarnya gaya yang terjadi untuk menekan master silinder dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut :

$$F_{br} = P \cdot A_{ms} \quad (N/m^2)$$

Dimana :

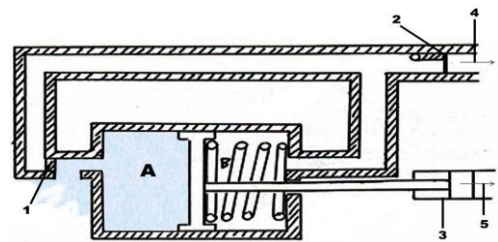
F_{ms} = Gaya yang menekan *booster rem* (N)

P = Tekanan minyak rem (N/m^2)

A_{ms} = Luas penampang master silinder (m^2)

(Sumber : Prof. Emiritus, Sears Zemansky, 1997 : 297)

Prinsip kerja *booster rem*. Bila pedal rem ditekan maka katup udara mulai membuka sehingga udara luar masuk ke ruangan A. Perbedaan tekanan di ruang A dan B sekarang terjadi dan diafragma bergerak ke kanan melawan tegangan pegas pembalik. Pada saat itu juga *piston* hidrolik di *master silinder* bergerak sehingga menimbulkan tekanan hidrolik dan tekanan selanjutnya ditransfer ke pipa-pipa rem.



Gambar 8. *Booster Rem* Dalam Keadaan Bekerja (Sumber : Toyota Step 2).

Keterangan :

1. Katup udara.
2. Katup satu arah vakum.
3. Hidrolik silinder.
4. Dari *intake* manifold.
5. Arah menuju silinder roda.

5.7 *Variabel yang direncanakan*

Variabel yang digunakan pada penelitian ini ada dua yaitu variabel bebas dan variabel terikat.

5.7.1 Variabel bebas

(*independent variable*). Yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Dalam penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah kecepatan kendaraan.

5.7.2 Variabel terikat (*dependent variable*). Yaitu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini memiliki variabel terikat yang meliputi:

- 1) Gaya roda/torsi roda.
- 2) Gaya fluida yang menekan silinder roda.

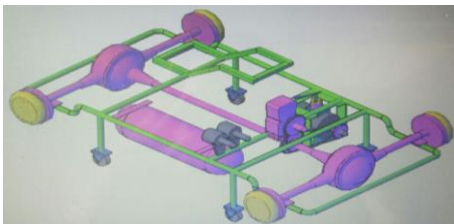
Data teknik kendaraan taktis Komodo.

a. Berat kendaraan (W): 7800 Kg

- b. Diameter roda (D : 95 cm
- c. Dimensi
 - 1) Panjang : 630 cm
 - 2) Lebar : 219 cm
 - 3) Tinggi : 210 cm
- d. Tipe : 4 x 4 WD
- e. Kecepatan kendaraan : 80 Km/jam
- f. Ukuran Ban : 9.00 x 20.8
- g. Diameter roda : 95 cm
- h. Diameter tromol : 40 cm
- i. Jarak engsel dan sumbu tromol : 13 cm
- k. Lebar kanvas (c) : 5 cm
- l. Jari-jari tromol (r_{tr}) : 40 cm
- m. Jarak engsel, sumbu master bawah (B) : 13,5 cm
- n. Diameter cakram : 26 cm

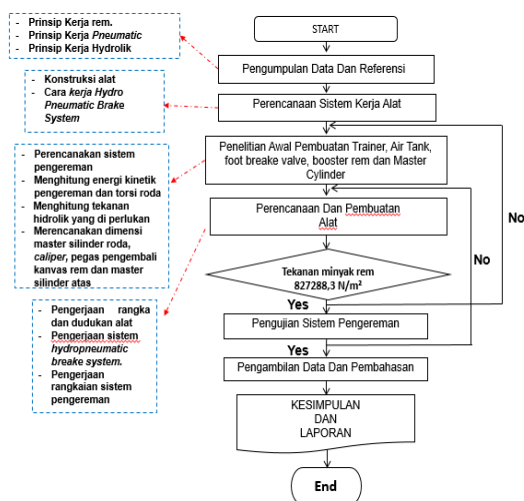


Gambar 9. Rantis Komodo Mistral
(Sumber : Photo Doc.P.T Pindad, Bandung)



Gambar 10. Perencanaan trainer
hydropneumatic brake system

6. DIAGRAM ALIR.



7. Perhitungan Torsi Roda.

Untuk menghitung torsi roda terlebih

dahulu menghitung gaya kendaraan yang harus digunakan sampai kendaraan berhenti pada kecepatan 80 km/jam dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Dimana :

$$S = \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$= \frac{(22,22 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 0,7 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$= \frac{493,72 \text{ m}^2/\text{s}^2}{13,73 \text{ m/s}^2}$$

$$S = 35,95 \text{ m.}$$

Sehingga persamaan gaya yang harus digunakan sampai kendaraan berhenti.

$$F_{\text{ran}} = \frac{W \cdot V^2}{(2 \cdot g) \cdot \left(\frac{d}{D}\right) \cdot S \cdot 4}$$

$$= \frac{(7800 \text{ Kgf. } (80 \text{ km/jam})^2)}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \left(\frac{0,40 \text{ m}}{0,95 \text{ m}}\right) \cdot 35,95 \text{ m} \cdot 4}$$

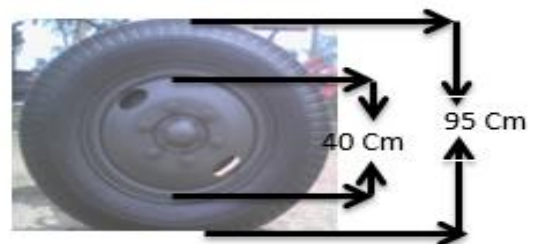
$$= \frac{7800 \text{ Kgf. } (22,22 \text{ m/s})^2}{19,62 \text{ m/s}^2 \cdot (0,423 \text{ m}) \cdot 111,84 \text{ m}}$$

$$= \frac{7800 \text{ Kgf. } 493,72 \text{ (m/s)}^2}{1188,15 \text{ m/s}^2}$$

$$= \frac{3851852 \text{ Kgf.m/s}^2}{1188,15 \text{ m/s}^2}$$

$$F_{\text{ran}} = 3241,87 \text{ Kgf}$$

8. TORSI RODA (T_r).



Gambar 11. Roda Rantis Komodo
(Sumber : Photo Doc.P.T Pindad, Bandung)

$$T_{\text{tot}} = F_{\text{ran}} \cdot r_d \cdot \mu$$

$$= 3241,87 \text{ Kgf. } 0,47 \text{ m} \cdot 0,9$$

$$= 1371,31 \text{ Nm.}$$

Tekanan (P) minyak rem yang dibutuhkan pada tiap - tiap roda.

$$P = \frac{T_r}{\mu \cdot c \cdot r_{tr}^2 (\cos 25^\circ - \cos 125^\circ)}$$

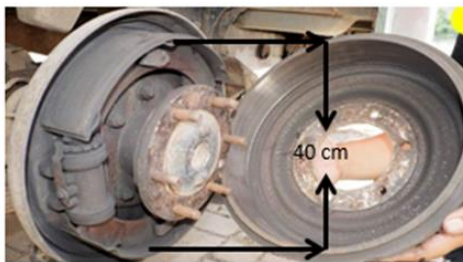
$$= \frac{1371,31 \text{ Nm.}}{0,4 \cdot 0,07 \text{ m} \cdot (0,20 \text{ m})^2 (0,99 - (-0,57))}$$

$$= \frac{1371,31 \text{ Nm.}}{0,001658 \text{ m}^2}$$

$$= 827288,22 \text{ N/m}^2$$

9. Diameter Silinder

Tekanan minyak rem yang diperlukan untuk menekan silinder roda sebesar $413644,16 \text{ N/m}^2$, maka direncanakan dimensi tromol, sehingga gaya silinder roda (F_1 dan F_2) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :



Gambar 12. Rem tromol (Sumber : Photo Doc. Bengkel Pulesari, Malang)

$$F_1 \cdot L = M_n - M_f, \quad F_2 \cdot L = M_n + M_f$$

Dimana :

9.1 Geometri angka

$$00_1 = \frac{10 \text{ B}}{\cos 25^\circ} = \frac{10}{0,90} = 0,1111 \text{ m.}$$

$$\theta_1 = 25^\circ = 25 \cdot \frac{3,14}{180} = 0,436 \text{ rad.}$$

$$\theta_2 = 125^\circ = 125 \cdot \frac{3,14}{180} = 2,18 \text{ rad.}$$

9.2 Momen normal kanvas rem.

$$M_n = \frac{1}{2} \cdot P_1 \cdot c \cdot r \cdot 00_1 \cdot [(\theta_2 - \theta_1) + 0,5 (\sin 2 \cdot \theta_1 - \sin 2 \cdot \theta_2)] = \frac{1}{2} \cdot 827288,22 \text{ N/m}^2 \cdot 0,07 \text{ m} \cdot 0,20 \text{ m} \cdot$$

$$0,1111 \text{ m} [(2,18 - 0,436) + 0,5 (0,76 - (-0,93))] = 5791,509 \text{ N} \cdot 1,038827 \text{ m} = 6015,32 \text{ Nm.}$$

$$M_f = \mu \cdot P_1 \cdot c \cdot r \cdot [r (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) + \frac{00_1}{4} (\cos 2 \cdot \theta_2 - \cos 2 \cdot \theta_1)] = 0,4 \cdot$$

$$827288,22 \text{ N/m}^2 \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} [0,15 \text{ m} (\cos 25^\circ - \cos 125^\circ) + \frac{0,1111}{4} (\cos 50^\circ - \cos 250^\circ)] = 4632,81 \text{ N/m}^2 \cdot (0,294 \text{ m}) + (-0,02736) = 1235,31 \text{ Nm.}$$

Jadi gaya untuk menekan sepatu rem F_1 dan F_2 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_1 \cdot L = M_n - M_f$$

$$F_1 \cdot 0,2 \text{ m} = 6015,86 \text{ Nm} - 1235,31 \text{ Nm}$$

$$F_1 = \frac{4780,05 \text{ N/m}}{0,2 \text{ m}} = 23902,76 \text{ N.}$$

$$F_2 \cdot L = M_n + M_f$$

$$F_2 \cdot 0,2 \text{ m} = 6015,86 \text{ Nm} + 1235,31 \text{ Nm}$$

$$F_2 = \frac{7251,67 \text{ N/m}}{0,2 \text{ m}} = 36255,95 \text{ N.}$$

$$F_{\text{tot}} = 23902,76 \text{ N} + 36255,95 \text{ N} = 60158,67 \text{ N}$$

Maka diambil gaya yang paling besar (F_2), sehingga luas penampang silinder roda bawah bagian roda belakang adalah :

$$A_{\text{sr}} = \frac{F}{P_1} = \frac{60158,67 \text{ N}}{827288,3 \text{ N/m}^2} = 0,004 \text{ m}^2.$$

Menghitung diameter silinder roda bawah, bagian roda belakang

$$A_{\text{sr}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{sr}}^2$$

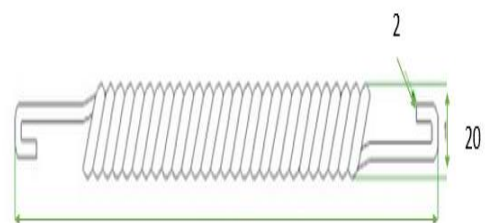
$$D_{\text{sr}}^2 = \frac{A_{\text{sr}}}{\pi/4} = \frac{0,004 \text{ m}^2}{3,14/4} = 0,005 \text{ m}^2$$

$$D_{\text{sr}} = 0,08 \text{ m.}$$

Jadi diameter silinder roda pada rem tromol sebesar 0,08 m Kemudian di bagi 2 menjadi 0,4 m.

10. Perencanaan pegas penarik

Perencanaan pegas penarik kanvas tromol dapat di ketahui dengan perhitungan, dengan merencanakan pegas penariknya sebagai berikut :



Gambar 13. Dimensi Pegas
(Sumber : Gambar teknik manual)

Tabel 1. Konstanta untuk memperkirakan kekuatan tarik dari baja pegas

Bahan	Eksponen (m)	Konstanta A	
		Kpsi	Mpa
Senar musik	0,146	196	1350,44
Kawat yang dikeraskan dengan penarikan	0,192	254	1750

d (diameter kawat) = 3 cm

D (diameter pegas) = (21-1) = 20 mm

A = 1750 Mpa (Tabel B)

M = 0,192 (Tabel B)

Sehingga perencanaan pegas dapat di hitung dengan perhitungan :

$$S_{ut} = \frac{A}{d_m}$$

$$= \frac{1750}{30,192}$$

$$= \frac{1750}{1,234}$$

$$S_{ut} = 1531 \text{ Mpa}$$

Persamaan pendekatan antara kekuatan menyerah dan kekuatan akhir dalam tarik, di dapat

$$S_y = 0,75 \cdot S_{ut}$$

$$= 0,75 \cdot 1531 \text{ Mpa}$$

$$S_y = 1148,9 \text{ Mpa}$$

Dengan menggunakan teori energi distorsi, di dapat :

$$S_{sy} = 0,577 \cdot S_y$$

$$= 0,577 \cdot 1148,9 \text{ Mpa}$$

$$S_{sy} = 662,94 \text{ Mpa}$$

Indeks pegas adalah :

$$C = \frac{D}{d}$$

$$= \frac{20}{3}$$

$$C = 6,6 \text{ mm}$$

Maka faktor perkalian tegangan geser adalah:

$$K_s = 1 + \frac{0,5}{C}$$

$$= 1 + \frac{0,5}{6,6}$$

$$K_s = 1,07 \text{ mm}$$

Sehingga F_{max} didapat dengan menggantikan tegangan geser dengan kekuatan mengalah puntir, di dapat :

$$F_{max} = \frac{S_{sy} \cdot \pi \cdot d^3}{8 \cdot K_s \cdot D}$$

$$= \frac{757,31 \text{ (Mpa)} \cdot 3,14 \cdot (2 \text{ mm})^3}{8 \cdot 1,07 \cdot 20 \text{ (mm)}}$$

$$= \frac{19023,62 \text{ N}}{171,2}$$

$$= 326,77 \text{ N}$$

Besar gaya yang di perlukan untuk menimbulkan tegangan puntir pada ujung centelan, adalah :

$$r_m = \frac{D}{4}$$

$$= \frac{20}{4}$$

$$r_m = 5 \text{ mm}$$

$$r_i = r_m \cdot \frac{d}{2}$$

$$= 5 \cdot \frac{3}{2}$$

$$r_i = 3,5 \text{ mm}$$

maka,

$$K = \frac{R_m}{r_i}$$

$$= \frac{5}{3,5}$$

$$= 1,42 \text{ mm}$$

Jadi,

$$F_{max} = \frac{S_{sy} \cdot \pi \cdot d^3}{8 \cdot K_s \cdot D}$$

$$= \frac{757,31 \text{ (Mpa)} \cdot 3,14 \cdot (2 \text{ mm})^3}{8 \cdot 1,42 \cdot 20 \text{ (mm)}}$$

$$= \frac{19023,62 \text{ N}}{227,2}$$

$$= 245,89 \text{ N}$$

Tegangan normal pada centelan di peroleh dari gaya untuk menimbulkan tegangan normal yang mencapai kekuatan mengalah :

$$r_m = \frac{D}{2}$$

$$= \frac{20}{2}$$

$$r_m = 10 \text{ mm}$$

$$r_i = r_m \cdot \frac{2}{3}$$

$$= 10 \cdot \frac{2}{3}$$

$$r_i = 8,5 \text{ mm}$$

maka,

$$K = \frac{r_m}{r_i}$$

$$= \frac{10}{8,5}$$

$$= 1,17 \text{ mm}$$

Dengan memasukan $\tau = S_y$ dan harga-harga yang di ketahui dalam persamaan :

$$\tau = \frac{M}{I/C} + \frac{F}{A} = \frac{K \cdot 32 F \cdot r_m}{\pi \cdot d^3} + \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2}$$

$$662,94 \text{ (Mpa)} =$$

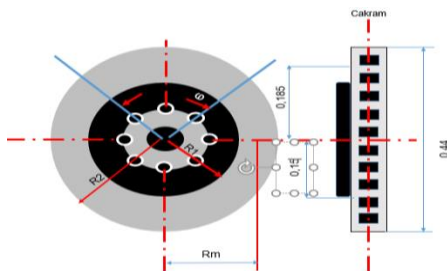
$$\frac{1,11 \text{ (mm)} \cdot 32 F \cdot 10}{\pi \cdot (2)^3} + \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot (2)^2}$$

$$662,94 \text{ (Mpa)} = \frac{359,55}{3,14}$$

$$= 5,471 \text{ N}$$

10. Perencanaan dimensi cakram.

10.1 Direncanakan diameter cakram (D_{ck}) 0,44 m, (R_m) 0,185 m, (R_1) 0,15 m, (ϕ) 25° .



Gambar14. Dimensi Cakram.
(Sumber : Gambar Teknik Manual)

Sehingga gaya pengereman cakram (F_{ck}) dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$T_r T_r = \mu_{kv} \cdot F_{ck} \cdot K_1 \cdot r_m$$

Dimana,

$$K_1 = \frac{2 \cdot \phi}{3 \sin (\phi/2)} \left[1 - \frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2)^2} \right]$$

$$= \frac{2 \cdot 25^\circ}{3 \sin (25/2)} \left[1 - \frac{0,15 \text{ m} \cdot 0,22 \text{ m}}{(0,15 + 0,22)^2} \right]$$

$$= \frac{50^\circ}{3 \sin (12,5)} \left[1 - \frac{0,033 \text{ m}^2}{0,14 \text{ m}^2} \right]$$

$$= \frac{0,87}{0,649} [1 - 0,24]$$

$$= 1,34 \cdot 0,76$$

$$= 1,02$$

Maka,

$$F_{ck} = \frac{T_r}{\mu_{kv} \cdot K_1 \cdot r_m}$$

$$= \frac{1371,31 \text{ Nm}}{0,4 \cdot 1,02 \cdot 0,185 \text{ m}}$$

$$= \frac{3241,96 \text{ Nm}}{0,07548 \text{ m}}$$

$$= 18186,48 \text{ N}$$

10.2 Luas penampang *piston/caliper*.

$$A_{ck} = \frac{F_{ck}}{P_1}$$

$$= \frac{18186,48 \text{ N}}{827288,3 \text{ N/m}^2}$$

$$= 0,021 \text{ m}^2$$

10.3 Diameter *piston/caliper* cakram dengan persamaan berikut :

$$A_{ck} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ck}^2$$

Maka,

$$D_{ck}^2 = \frac{A_{ck}}{\pi/4}$$

$$= \frac{0,021 \text{ m}^2}{3,14 / 4}$$

$$= \frac{0,021 \text{ m}^2}{0,785}$$

$$= 0,02 \text{ m}^2$$

$$D_{ck} = 0,1 \text{ m}.$$

Jadi diameter piston pada master silinder bawah pada rem cakram adalah 0,1 m maka, Pada kendaraan komodo memiliki berat 7,8 ton dan memiliki torsi yang besar sehingga pada rem cakramnya setiap roda memakai *disc/cakram* dengan 2 buah *piston/caliper*, agar daya pengereman pada *disc/cakram* lebih maksimal dan sempurna maka setiap diameter cakram 0,05 m.

11. Pipa Hidrolik.

Pada sistem hidrolik pada sistem rem pipa hidrolik rata-rata menggunakan pipa kaku dari baja, dimana pada sistem rem yang bersifat bertekanan tinggi dan statis, fluida cair/minyak rem dari *reservoir* mengalir ke *master silinder* rem atas dan memenuhi pipa hidrolik, kemudian minyak rem yang menekan *piston* yang berada di dalam *master silinder* bawah menekan kanvas rem baik pada sistem rem cakram dan tromol.

Dengan diameter pada *master silinder* 3 mm maka pemilihan pipanya dengan diameter luar 4 mm dan tebal dinding pipa 1 mm dengan bahan baja karena selain kuat menahan tekanan 413644,16 N/m² yang bersifat statis, pipa baja ini juga tahan terhadap panas yang ditimbulkan karena adanya gesekan pada kanvas rem dengan tromol maupun *disc*/piringan cakram.

Tabel 2. Pemilihan pada pipa hidrolik.

Diameter luar (mm)	Tebal dinding pipa (mm)	Tekanan maksimal terhitung (bar)	Diameter luar (mm)	Tebal dinding pipa (mm)	Tekanan maksimal terhitung (bar)
4	1	600	18	3	365
5	1	400	20	2	193
6	1	300	20	3	313
6	2	1200	22	1.5	122
8	1	228	22	3	273
8	2	686	25	2	147
10	1	172	25	3	230
10	2	458	28	1.5	92
12	1	137	28	3	199
12	2	343	30	2.5	119
14	1	128	30	4	265
14	2	309	35	2	100
15	1.5	192	35	4	216
15	2.5	365	38	3	136
16	1.5	177	38	5	261
16	2.5	331	42	2	81
18	1.5	154			

12. Diameter master

Silinder atas Tekanan minyak rem yang dibutuhkan master silinder bawah dan master silinder atas dianggap sama, pada mobil atau kendaraan pada umum yang memakai sistem hidrolik hanya memakai satu silinder master atas, tetapi *hydropneumatic brake system* setiap dua roda depan dan dua belakang masing-masing memakai satu master silinder atas.

12.1 Perencanaan dimensi master silinder rem atas pada rem tromol dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{ms} = \frac{F_{tr}}{A_{ms}} \text{ (N/m}^2\text{)}.$$

Luas penampang master silinder atas.

$$\begin{aligned} A_{ms} &= \frac{F_{tr}}{P_{ms}} \text{ (m}^2\text{)} \\ &= \frac{60158,67 \text{ N}}{827288,3 \text{ N/m}^2} \\ &= 0,019 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Diameter master rem

Diameter master rem silinder atas.

$$\begin{aligned} D_{ms}^2 &= \frac{A_{ms}}{\pi/4} \\ &= \frac{0,019 \text{ m}^2}{3,14/4} \\ &= \frac{0,019 \text{ m}^2}{0,785} \\ &= 0,02 \text{ m}^2 \\ D_{ck} &= 0,1 \text{ m.} \end{aligned}$$

12.2 Perencanaan dimensi master silinder rem atas pada rem cakram dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{ms} = \frac{F_{ck}}{A_{ms}} \text{ (N/m}^2\text{)}.$$

Luas penampang master silinder atas.

$$\begin{aligned} A_{ms} &= \frac{F_{ck}}{P_{ms}} \text{ (m}^2\text{)} \\ &= \frac{18186,48 \text{ N}}{827288,3 \text{ N/m}^2} \\ &= 0,009 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Diameter *piston* master rem atas.

$$\begin{aligned} D_{ms}^2 &= \frac{A_{ms}}{\pi/4} \\ &= \frac{0,009 \text{ m}^2}{3,14/4} \\ &= \frac{0,009 \text{ m}^2}{0,785} \\ &= 0,010 \text{ m}^2 \\ D_{ck} &= 0,1 \text{ m.} \end{aligned}$$

13. KESIMPULAN.

Dari hasil perhitungan perencanaan rangkaian hidrolik pada kendaraan taktis komodo buatan P.T Pindad dimana memakai *hydropneumatic brake system*, perhitungan adalah sebagai berikut :

13.1 Energi kinetik total kendaraan taktis komodo dengan kecepatan 80 km/jam = 3241,96 Kgf

13.2 Tekanan minyak rem yang dibutuhkan = 827288,22 N/m²

13.3 Dimensi master silinder bawah pada rem tromol roda belakang.

1) Luas penampang silinder roda = 0,004 m²

- 2) Diameter *piston* rem = 0,04 m
- 13.4 Dimensi master silinder bawah/*caliper* pada rem cakram roda depan.
- 1) Luas penampang silinder roda/*caliper* = $0,021 \text{ m}^2$
- 2) Diameter *piston* rem = 0,05 m
- 13.5 Diameter pipa dalam 0,03 m dengan ketebalan pipa 0,01 m dari baja.
- 13.6 Dimensi master silinder atas pada rem tromol roda belakang.
- 1) Luas penampang silinder roda = $0,019 \text{ m}^2$
- 2) Diameter *piston* rem = 0,1 m
- 13.7 Dimensi master silinder atas pada rem cakram roda depan.
- 1) Luas penampang silinder roda = $0,009 \text{ m}^2$
- 2) Diameter *piston* rem = 0,1 m

14. SARAN.

Dari hasil perhitungan rangkaian hidrolik *hydropneumatic brake system* pada kendaraan taktis komodo yang sebenarnya pada master silinder atas masih menggunakan diameter 0,03 m sehingga kurang mampu mengerem dengan berat kendaraan komodo 7800 kg dengan kecepatan 80km/jam. Jika memang tetap memakai master silinder atas diameter 0,03 m maka di tambah dengan *exhaust brake system* agar lebih aman digunakan untuk pengereman dan menghentikan kendaraan komodo.

15. DAFTAR PUSTAKA.

- Drs.Sugi Hartono. **Sistem Kontrol dan Pesawat Tenaga hidrolik**. Bandung: Tarsito, 1988.
- P.T Pindad, 2005, **Manual Book anoa6x6**, Divisi Kendaraan, Bandung.
- Patriana D.M. **Hidrolik Trainer**, Balai latihan Instruktur, Bandung.
- PPGT VEDC, 2005, **Modul Pelatihan Otomotif “ Sistem Rem Mobil”** VEDC, Malang.
- Satiz, **Technical and Repair manual EURO 4 NEF SERIES**, Turin, Italy
- Sularso, Ir, MSME, Kiyokatsu Suga, 2004, **Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin**, PT Pradnya Paramitha, Jakarta.

R.S. Khurmi, J.K Gupta, **Mechine Design**, 1980.

Toyota Step 1, 1989, **Sistem Rem**, Astra, Surabaya.

Toyota Step New, 1990, **Sistem Rem**, Astra, Surabaya.

Zemansky.Sears, 1982, **Fisika Universitas 1**, Bina Cipta, Bandung.