

4. PERHITUNGAN

4.1. Perhitungan Dimensi Silinder Pemanggang

Jika diambil 35 biji kopi, kemudian ditimbang dan didapati:

$$W = 10 \text{ gram}$$

$$v = 40 \text{ ml}$$

Sehingga dapat dihitung berat dan volume 1 biji kopi secara rata-rata adalah:

$$w = \frac{10 \text{ gram}}{35 \text{ biji}} = 0,2857 \text{ gram} \sim 0,3 \text{ gram} \sim 0,3 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v = \frac{40 \text{ ml}}{35 \text{ biji}} = 0,875 \text{ ml} \sim 0,9 \text{ ml} \sim 0,9 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Jika diasumsikan berat dan volume masing-masing biji kopi adalah seragam, maka dapat dihitung berat jenis kopi adalah:

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{0,3 \times 10^{-3} \text{ kg}}{0,9 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 0,33 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Jika kapasitas mesin ditentukan adalah 5 kg kopi mentah, maka dapat dihitung volume yang diperlukan adalah:

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{5 \text{ kg}}{0,33 \times 10^3 \text{ kg/m}^3} = 15,15 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Jika telah ditentukan bahwa panjang silinder (= t) adalah 0,5 meter, maka jari-jari setengah tabung yang diperlukan adalah:

$$v = p \cdot r^2 \cdot t \cdot \frac{1}{2}$$

Maka:

$$r = \sqrt{\frac{v}{p \cdot t \cdot \frac{1}{2}}} = \sqrt{\frac{15,15 \times 10^{-3}}{\frac{22}{7} \cdot 0,5 \cdot \frac{1}{2}}} = 0,1389 \text{ m} \sim 0,14 \text{ m}$$

4.2. Torsi Inersia

4.2.1. Poros *pulley* besar

Bahan : baja carbon 0,5% C ; $\rho = 7,833 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 50 \text{ mm}$; $P_2 = 15 \text{ mm}$; $P_3 = P_5 = 13 \text{ mm}$; $P_4 = 28 \text{ mm}$; $P_6 = 79 \text{ mm}$;

$D_1 = 25 \text{ mm}$; $D_2 = 26,2 \text{ mm}$; $D_3 = D_5 = 30 \text{ mm}$; $D_4 = 29,6 \text{ mm}$; $D_6 = 35 \text{ mm}$;

$P_{L1} = 72 \text{ mm}$; $D_{L1} = 17,2 \text{ mm}$; Pasak 1 = 4 x 8 x 50; Pasak 2 = 5 x 10 x 60.

$$\begin{aligned}
 m_{PPB} &= \rho \cdot v \\
 &= 7,833 \times 10^3 \cdot \left[\frac{22}{7} \cdot \{ (0,05 \cdot 0,0125^2) + (0,015 \cdot 0,0131^2) + \right. \\
 &\quad \left. 2 (0,013 \cdot 0,015^2) + (0,028 \cdot 0,01453^2) + (0,079 \cdot 0,0175^2) \right. \\
 &\quad \left. - (0,072 \cdot 0,0086^2) \right] - \{ (0,004 \cdot 0,008 \cdot 0,05) + (0,005 \cdot \\
 &\quad 0,01 \cdot 0,06) \} \\
 &= 0,971 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{PPB} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 + r^2) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 0,531 \cdot 0,015^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,44 \cdot (0,0175^2 + 0,0086^2) \\
 &= 5,974 \times 10^{-5} + 8,365 \times 10^{-5} \\
 &= 14,339 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2
 \end{aligned}$$

4.2.2. Poros pemanggang

Bahan : *stainless steel* ; $\rho = 7,817 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 128 \text{ mm}$; $P_2 = 12 \text{ mm}$; $P_3 = 583 \text{ mm}$; $P_4 = 563 \text{ mm}$; $P_5 = 24 \text{ mm}$

$D_1 = 17 \text{ mm}$; $D_2 = 19 \text{ mm}$; $D_3 = 20 \text{ mm}$; $D_4 = 25 \text{ mm}$; $D_5 = 20 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 m_{PPSS} &= \rho \cdot v \\
 &= 7,897 \times 10^3 \cdot \frac{22}{7} \cdot \{ (0,0085^2 \cdot 0,128) + (0,0095^2 \cdot 0,012) + \\
 &\quad (0,01^2 \cdot 0,583) + (0,0125^2 \cdot 0,563) + (0,01^2 \cdot 0,024) \} \\
 &= 4,246 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{PPSS} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \{ (0,23 \cdot 0,0085^2) + (0,0269 \cdot 0,0095^2) + (1,749 \cdot \\
 &\quad 0,11^2) + (2,18 \cdot 0,0125^2) + (0,0595 \cdot 0,01^2) \} \\
 &= 0,011 \text{ kg.m}^2
 \end{aligned}$$

4.2.3. Kopling cakar dan pasangannya

Bahan : baja carbon 0,5% C ; $\rho = 7,833 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 60 \text{ mm}$; $P_2 = 20 \text{ mm}$; $P_3 = 20 \text{ mm}$; $D_1 = 60 \text{ mm}$; $D_2 = 35 \text{ mm}$; $L_1 = 35 \text{ mm}$; $L_2 = 17,2 \text{ mm}$; Pasak 1 = $3 \times 10 \times 60$; Pasak 2 = $2 \times 5 \times 20$

$$\begin{aligned} m_{KC} &= \rho \cdot v \\ &= 7,833 \times 10^3 \cdot \left[\frac{22}{7} \{ 0,06 (0,03^2 - 0,0175^2) + 0,02 \right. \\ &\quad \left. (0,023^2 - 0,0175^2) + 0,02 (0,0175^2 - 0,0086^2) \} - (0,06 \cdot 0,01 \cdot \right. \\ &\quad \left. 0,003) - (0,02 \cdot 0,005 \cdot 0,0028) \right] \\ &= 1,084 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{KC} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 + r^2) \\ &= \frac{1}{2} \{ 0,575 (0,03^2 + 0,0175^2) + 0,095 (0,023^2 + 0,0175^2) + \\ &\quad 0,414 (0,03^2 + 0,0086^2) \} \\ &= 5,881 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

4.2.4. Mur poros

Bahan : baja carbon 0,5% C ; $\rho = 7,833 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 54 \text{ mm}$; $D_1 = 50 \text{ mm}$; $L_1 = 25,5 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} m_M &= \rho \cdot v \\ &= 7,833 \times 10^3 \cdot \frac{22}{7} \cdot 0,054 \cdot (0,025^2 - 0,0115^2) \\ &= 0,654 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_M &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 + r^2) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 0,654 \cdot (0,025^2 + 0,0115^2) \\ &= 2,476 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

4.2.5. Rumah bantalan luncur dan bus kuningan kecil

Bahan : baja carbon 0,5% C dan kuningan; $\rho_b = 7,833 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; $\rho_k = 8,522 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; $P_1 = 20 \text{ mm}$; $D_1 = 50 \text{ mm}$; $L_1 = 35 \text{ mm}$; $D_2 = 35 \text{ mm}$; $L_2 = 25 \text{ mm}$

$$m_{RBK} = \rho \cdot v$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{22}{7} \{ 7,833 \times 10^3 \cdot 0,02 (0,025^2 - 0,0175^2) + 8,522 \times 10^3 \\
&\quad \cdot 0,02 (0,0175^2 - 0,0125^2) \} \\
&= 0,237 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{RBB} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 + r^2) \\
&= \frac{1}{2} \{ 0,157 (0,025^2 + 0,0175^2) + 0,08 (0,0175^2 + 0,0125^2) \} \\
&= 9,2 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2
\end{aligned}$$

4.2.6 Rumah bantalan luncur dan bus kuningan besar

Bahan : baja carbon 0,5% C dan kuningan; $\rho_b = 7,833 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; $\rho_k = 8,522 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; $P_1 = 50 \text{ mm}$; $D_1 = 50 \text{ mm}$; $L_1 = 35 \text{ mm}$; $D_2 = 35 \text{ mm}$; $L_2 = 25 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
m_{RBB} &= \rho \cdot v \\
&= \frac{22}{7} \{ 7,833 \times 10^3 \cdot 0,05 (0,025^2 - 0,0175^2) + 8,522 \times 10^3 \\
&\quad \cdot 0,05 (0,0175^2 - 0,0125^2) \} \\
&= 0,593 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{RBB} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 + r^2) \\
&= \frac{1}{2} \{ 0,393 (0,025^2 + 0,0175^2) + 0,2 (0,0175^2 + 0,0125^2) \} \\
&= 4,585 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2
\end{aligned}$$

4.2.7. Pulley besar

Bahan : besi tuang ; $\rho = 7,897 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 28 \text{ mm}$; $D_1 = 85 \text{ mm}$; $L_1 = 57 \text{ mm}$; $P_2 = 8 \text{ mm}$; $D_2 = 236 \text{ mm}$; $L_2 = 85 \text{ mm}$; $P_3 = 5 \text{ mm}$; $D_3 = 95 \text{ mm}$; $L_3 = 85 \text{ mm}$; $P_4 = 5 \text{ mm}$; $D_4 = 236 \text{ mm}$; $L_4 = 226 \text{ mm}$; $P_5 = 18 \text{ mm}$; $D_5 = 248 \text{ mm}$; $L_5 = 236 \text{ mm}$; $P_6 = 7,5 \text{ mm}$; $D_6 = 268 \text{ mm}$; $L_6 = 248 \text{ mm}$; $P_7 = 5 \text{ mm}$; $D_7 = 57 \text{ mm}$; $L_7 = 37 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
m_{PB} &= \rho \cdot v \\
&= 7,897 \times 10^3 \cdot \frac{22}{7} \cdot \{ 0,028 (0,0425^2 - 0,0285^2) + 0,008
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (0,118^2 - 0,0425^2) + 0,005 (0,0475^2 - 0,0425^2) + 0,005 (0,118^2 \\
& - 0,113^2) + 0,018 (0,124^2 - 0,118^2) + 0,0075 (0,134^2 - 0,124^2) \\
& + 0,005 (0,0285^2 - 0,0185^2) \\
& = 4,511 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{PB} &= m \cdot k^2 \\
&= 4,511 \cdot (0,089^2) \\
&= 0,036 \text{ kg.m}^2
\end{aligned}$$

4.2.8. Pulley kecil

Bahan : besi tuang ; $\rho = 7,897 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 13 \text{ mm}$; $D_1 = 60 \text{ mm}$; $L_1 = 20 \text{ mm}$; $P_2 = 5 \text{ mm}$; $D_2 = 80 \text{ mm}$; $L_2 = 20 \text{ mm}$; $P_3 = 2,5 \text{ mm}$; $D_3 = 80 \text{ mm}$; $L_3 = 60 \text{ mm}$; $P_4 = 20 \text{ mm}$; $D_4 = 50 \text{ mm}$; $L_4 = 20 \text{ mm}$;

Pasak = $3 \times 6 \times 38$

$$\begin{aligned}
m_{PK} &= \rho \cdot v \\
&= 7,897 \times 10^3 \left\{ \frac{22}{7} [0,013 (0,03^2 - 0,01^2) + 0,005 (0,04^2 - 0,01^2) + 0,0025 (0,04^2 - 0,03^2) + 0,02 (0,025^2 - 0,01^2)] - [0,006 \cdot 0,038 \cdot 0,003] \right\} \\
&= 0,742 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{PK} &= m \cdot k^2 \\
&= 0,742 \cdot 0,021^2 \\
&= 3,27 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2
\end{aligned}$$

4.2.9. Penutup silinder

Bahan : baja carbon 0,5% C ; $\rho = 7,833 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 2 \text{ mm}$; $D_1 = 288 \text{ mm}$; $L_1 = 44 \text{ mm}$; $D_2 = 328 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
m_{PS} &= \rho \cdot v \\
&= 7,833 \times 10^3 \cdot \frac{22}{7} \cdot 0,002 \left[(0,144^2 - 0,022^2) + \frac{1}{2} (0,164^2 - 0,144^2) \right] \\
&= 1,157 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{PS} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 + r^2) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,157 \cdot (0,164^2 + 0,144^2 + 0,022^2) \\
 &= 0,028 \text{ kg.m}^2
 \end{aligned}$$

Karena terdapat dua buah, maka besarnya momen inersia harus dikalikan dua, sehingga:

$$\begin{aligned}
 I_{PS} &= 2 \cdot 0,028 \\
 &= 0,056 \text{ kg.m}^2
 \end{aligned}$$

4.2.10. Penutup setengah tabung

Bagian depan (pada saat pemanggang tertutup, bagian ini bersinggungan dengan penutup silinder)

Bahan : baja carbon 0,5% C ; $\rho = 7,833 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 2 \text{ mm}$; $D_1 = 300 \text{ mm}$; $L_1 = 44 \text{ mm}$; $L_2 = L_3 = L_4 = 3 \times 2,2 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 m_{PSTD} &= \rho \cdot v \\
 &= 7,833 \times 10^3 \cdot 0,002 \left[\frac{22}{7} (0,15^2 - 0,022^2) - 3 (0,03 \cdot 0,0022) \right] \\
 &= 1,08 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{PSTD} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 + r^2) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,08 (0,15^2 + 0,022^2) \\
 &= 0,0124 \text{ kg.m}^2
 \end{aligned}$$

Sedangkan bagian belakang (pada saat pemanggang tertutup, bagian ini bersinggungan dengan ring yang berada pada silinder)

Bahan : baja carbon 0,5% C ; $\rho = 7,833 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned}
 m_{PSTB} &= \rho \cdot v \\
 &= 7,833 \times 10^3 \cdot 0,002 \cdot \frac{22}{7} (0,15^2 - 0,022^2) \\
 &= 1,083 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{PSTB} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 + r^2) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,083 (0,15^2 + 0,022^2)
 \end{aligned}$$

$$= 0,0124 \text{ kg.m}^2$$

4.2.11. Silinder

Bahan : *stainless steel* ; $\rho = 7,817 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 510 \text{ mm}$; $T_1 = 1,5 \text{ mm}$; $D_1 = 320 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} m_S &= \rho \cdot v \\ &= 7,817 \times 10^3 \left\{ \left(\frac{22}{7} \cdot 0,320 \cdot 0,51 \cdot 0,0015 \right) + 3 \left(0,025 \cdot 0,015 \cdot 0,51 \right) \right\} \\ &= 3,674 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_S &= m \cdot r^2 \\ &= 3,675 \cdot 0,144^2 \\ &= 0,076 \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

4.2.12. Ring luar silinder

Bahan : baja carbon 0,5% C ; $\rho = 7,833 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$T_1 = 10 \text{ mm}$; $D_1 = 300 \text{ mm}$; $L_1 = 288 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} m_R &= \rho \cdot v \\ &= 7,833 \times 10^3 \cdot \frac{22}{7} \cdot 0,01 \cdot (0,15^2 - 0,144^2) \\ &= 0,434 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_R &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 + r^2) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 0,434 (0,15^2 - 0,144^2) \\ &= 3,83 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

4.2.13. Poros *pulley* kecil – roda gigi

Bahan : baja carbon 0,5% C ; $\rho = 7,833 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 15 \text{ mm}$; $D_1 = 20 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} M_{PKRG} &= \rho \cdot v \\ &= 7,833 \times 10^3 \cdot \frac{22}{7} \cdot 0,01^2 \cdot 0,15 \end{aligned}$$

$$= 0,36 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} I_{PKRG} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 0,36 \cdot 0,01^2 \\ &= 1,8 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

4.2.14. Roda gigi

Bahan : baja carbon 1,0% C ; $\rho = 7,801 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 20 \text{ mm}$; $D_1 = 96 \text{ mm}$; $L_1 = 15 \text{ mm}$; Pasak = $4 \times 4 \times 15$

$$\begin{aligned} m_{RG} &= \rho \cdot v \\ &= 7,801 \times 10^3 \left\{ \frac{22}{7} \cdot 0,02 (0,048^2 - 0,0075^2) - (0,004^2 \cdot 0,015) \right\} \\ &= 1,098 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{RG} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 + r^2) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,098 \cdot (0,048^2 + 0,0075^2) \\ &= 1,295 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

Karena jumlahnya ada dua buah, maka:

$$\begin{aligned} I_{RG} &= 2 \times 1,295 \times 10^{-3} \\ &= 2,59 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

4.2.15. Poros penggiling

Bahan : baja carbon 0,5% C ; $\rho = 7,833 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 998 \text{ mm}$; $D_1 = 25 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} m_{PP} &= \rho \cdot v \\ &= 7,833 \times 10^3 \cdot \frac{22}{7} \cdot 0,0125^2 \cdot 0,998 \\ &= 3,843 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{PP} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,843 \cdot 0,0125^2 \\ &= 3 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

4.2.16. Penggiling

Bahan : baja carbon 1,5% C ; $\rho = 7,753 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$T_1 = 2 \text{ mm}$; $D_1 = 120$; $D_2 = 100$

$$\begin{aligned} m_p &= \rho \cdot v \\ &= 7,753 \times 10^3 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{22}{7} \cdot 0,06 \cdot 0,05 \cdot 0,002 \\ &= 0,097 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{PP} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 0,097 \cdot 0,06^2 \\ &= 1,746 \times 10^{-4} \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga, **momen inersia total** adalah:

$$\begin{aligned} I_{total} &= I_{PPB} + I_{PPSS} + I_{KC} + I_M + I_{RBK} + I_{RBB} + I_{PB} + I_{PK} + I_{PS} + I_{PSTD} + \\ &\quad I_{PSTB} + I_S + I_R + I_{RG} + I_{PP} + I_P + I_{PKRG} \\ &= 14,339 \times 10^{-5} + 0,011 + 5,881 \times 10^{-4} + 2,476 \times 10^{-4} + 9,2 \times 10^{-5} + \\ &\quad 4,585 \times 10^{-4} + 0,036 + 3,27 \times 10^{-4} + 0,056 + 0,0124 + 0,0124 + \\ &\quad 0,076 + 3,83 \times 10^{-4} + 1,945 \times 10^{-3} + 3 \times 10^{-4} + 1,746 \times 10^{-4} + \\ &\quad 1,8 \times 10^{-5} \\ &= 0,208 \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

Setelah momen inersia total diketahui, momen tersebut harus dikalikan percepatan sudut α , untuk kemudian dijumlahkan dengan komponen momen yang lain sehingga dapat digunakan untuk perhitungan daya motor yang dibutuhkan.

Untuk mencari percepatan sudut, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= 0 \text{ (mula-mula diam)} \\ t &= 2 \text{ detik (berdasarkan percobaan)} \\ \omega_t &= \frac{2 \cdot p \cdot n}{60} \\ &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 29}{60} \\ &= 3,04 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\theta_t - \theta_0}{t} \\
 &= \frac{3,04 - 0}{2} \\
 &= 1,52 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 M_{inersia} &= I_{total} \cdot a \\
 &= 0,208 \cdot 1,52 \\
 &= 0,316 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

4.3. Perhitungan momen selain inersia

4.3.1. Setengah tabung

Bahan : *stainless steel* ; $\rho = 7,817 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_1 = 510 \text{ mm}$; $D_1 = 286$; $T_1 = 1,5 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 m &= \rho \cdot v \\
 &= 7,817 \times 10^3 \cdot \left\{ \left(\frac{22}{7} \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,286 \cdot 0,51 \cdot 0,0015 \right) + \left(0,03 \cdot 0,0022 \cdot 0,5 \right) \right\} \\
 &= 1,66 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Seperti telah diketahui, yaitu bahwa setengah tabung ini akan membuat mekanisme berputar eksentris, hal ini akan mengakibatkan rusaknya bantalan, serta elemen mesin yang lainnya. Momen yang diakibatkan oleh setengah tabung ini sebesar:

$$M = F \cdot r$$

Di mana:

M = Momen yang diakibatkan (Nm)

F = Gaya berat setengah tabung (N)

r = Jari-jari atau jarak titik berat ke sumbu putar (m)

Sebelum dilakukan perhitungan momen, terlebih dahulu perlu dicari jarak titik berat ke sumbu putar dengan perumusan:

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{2 \cdot r}{p} \\
 &= \frac{2 \times 0,143}{3,14} \\
 &= 0,091
 \end{aligned}$$

Kemudian:

$$\begin{aligned}
 M_{ST} &= 1,66 \cdot 9,8 \cdot 0,091 \\
 &= 1,48 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Momen inilah yang harus dilawan pembalans

4.3.2. Pembalans

Elemen ini diperlukan untuk melawan momen yang diakibatkan setengah tabung. Jika ruang untuk pembalans telah ditentukan, yaitu pada celah di antara dua plat penutup silinder yang posisinya berseberangan dengan setengah tabung (pada setengah lingkaran dengan jari-jari yang lebih besar).

Dimensi yang disediakan untuk pembalans adalah sepanjang keliling setengah lingkaran yang berjari-jari 164 mm. Sehingga jarak titik beratnya dapat dihitung, yaitu sebesar:

$$\begin{aligned}
 G &= \frac{2 \cdot r}{p} \\
 &= \frac{2 \times 0,164}{3,14} \\
 &= 0,1045 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jika lengan momen telah diketahui dan besarnya momen juga telah diketahui, maka gaya F dapat dihitung dengan:

$$\begin{aligned}
 M_{Pb} &= F \cdot r & ? & & F &= \frac{M}{r} \\
 & & & & &= \frac{1,48}{0,1045} \\
 & & & & &= 14,163 \text{ N} \\
 m &= \frac{14,163}{9,8} \\
 &= 1,45 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Untuk menyediakan massa sebesar itu, telah dipilih plat baja dengan tebal 8 mm, dan lebar 50 mm (jarak antara kedua plat penutup silinder). Dengan massa jenis $\rho = 7,833 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, dapat dicari panjang plat pembalans yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned} p &= \frac{m}{\rho \cdot l \cdot t} \\ &= \frac{1,45}{7,833 \times 10^3 \cdot 0,05 \cdot 0,008} \\ &= 0,463 \text{ meter} \end{aligned}$$

Keliling plat penutup silinder (jari-jari besar) tersebut adalah:

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{2} \cdot \frac{22}{7} \cdot D \\ &= \frac{11 \cdot 0,328}{7} \\ &= 0,515 \text{ meter ? tempatnya cukup.} \end{aligned}$$

4.3.3. Biji kopi

Telah ditentukan bahwa kapasitas mesin ini adalah 5 kilogram kopi mentah. Jika diasumsikan biji kopi seragam berat maupun ukurannya, serta pada saat proses pemanggangan biji-biji kopi senantiasa berkumpul dibawah, ini berarti bahwa jika biji-biji kopi tersebut dipandang sebagai satu-kesatuan dan menempati setengah tabung, maka bentuk utuhnya adalah setengah tabung. Asumsi ini membantu untuk perhitungan momen yang diakibatkan oleh gaya berat kopi. Lengan momen gaya berat tersebut adalah:

$$\begin{aligned} G &= \frac{4 \cdot r}{3 \cdot p} \\ &= \frac{4 \cdot 0,143}{3 \cdot 3,14} \\ &= 0,061 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka, momen yang disebabkan oleh biji kopi tersebut adalah:

$$\begin{aligned} M_{BK} &= F \cdot r \\ &= 5 \cdot 9,8 \cdot 0,061 \\ &= 2,989 \text{ Nm} \end{aligned}$$

4.3.4. Gaya untuk menggiling kopi

Setelah dilakukan percobaan selama beberapa kali, diketahui bahwa gaya yang dibutuhkan untuk menghancurkan kopi adalah 4kg, sehingga dapat dilakukan perhitungan momen yang dibutuhkan untuk menggiling kopi tersebut. Jika pada masukan penggiling pertama kali, jarak antara biji kopi dan sumbu putar adalah 5 mm (lengan momen), maka momen yang diperlukan untuk menghancurkan kopi adalah:

$$\begin{aligned} M_{Pg} &= F \cdot r \\ &= 4 \cdot 9,8 \cdot 0,005 \\ &= 0,196 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Keempat gaya tersebut akan membuat momen tambahan pada motor, sehingga perhitungan ini perlu dilibatkan dalam perhitungan daya yang dibutuhkan oleh motor.

Jumlah ketiga momen tersebut adalah:

$$\begin{aligned} M_{total} &= M_{ST} + M_{Pb} + M_{BK} + M_{Pg} \\ &= 1,48 + 1,48 + 2,989 + 0,196 \\ &= 6,145 \text{ Nm} \end{aligned}$$

4.4. Perhitungan daya motor yang dibutuhkan

Daya motor yang dibutuhkan adalah daya minimal yang harus dimiliki motor untuk menggerakkan mekanisme-mekanisme yang ada. Perhitungan ini didasari oleh perhitungan inersia dan komponen momen yang lain yang mampu menghambat mekanisme yang sedang bergerak untuk berhenti.

Perumusannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T &= I \cdot a + F \cdot r \\ &= 0,316 + 6,145 \\ &= 6,461 \text{ Nm} \\ &= \frac{6,461}{9,8} \\ &= 0,659 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Perumusan daya motor yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{T.n}{716,2} \\
 &= \frac{0,659.(29+120)}{716,2} \\
 &= 0,137 \text{ HP} \\
 &= 0,137 \times 0,735 \\
 &= 0,1 \text{ kW} \sim 0,1 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Daya tersebut adalah daya rata-rata yang dibutuhkan, sehingga masih harus diperhatikan efisiensi mekanis η dari system transmisi untuk mendapatkan daya penggerak mula yang diperlukan.

Jika:

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{motor}} &= 0,75 ; \text{ jumlah motor} &&= 1 \text{ buah} \\
 \eta_{\text{puli}} &= 0,96 ; \text{ jumlah pulley} &&= 1 \text{ pasang} \\
 \eta_{\text{bearing}} &= 0,98 ; \text{ jumlah bearing} &&= 6 \text{ buah} \\
 \eta_{\text{roda gigi}} &= 0,96 ; \text{ jumlah roda gigi} &&= 1 \text{ pasang}
 \end{aligned}$$

Sehingga daya motor sebenarnya adalah:

$$\begin{aligned}
 P_s &= \frac{0,1}{0,75 \times 0,96 \times 0,98^6 \times 0,96} \\
 &= 0,16 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Kemudian, dari tabel motor dipilih motor dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \textit{Tipe} &= 58 \\
 \textit{Reduction ratio} &= 1/50 \\
 \textit{Input HP} &= 1,125 \\
 \textit{Output Torque} &= 24,8 \\
 \textit{OHL} &= 594,7
 \end{aligned}$$

4.5. Poros pemanggang

Sesuai tabel perencanaan, daya P yang telah dihitung terdahulu adalah daya rata-rata yang diperlukan, sehingga:

$$P_d = f_c \cdot P \text{ (kW)}$$

$$= 1,2 \cdot 0,16$$

$$= 0,192 \text{ kW}$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung besarnya momen puntir (momen rencana), yaitu T (kg.mm)

$$T = 9,74 \times 10^5 \cdot \frac{P_d}{n_1}$$

$$= 9,74 \times 10^5 \cdot \frac{0,192}{29}$$

$$= 6448,55 \text{ kg.mm}$$

Nilai s_B untuk stainless steel adalah $100 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$, jika diambil besarnya $Sf_1 = 6,0$ (baja paduan) dan $Sf_2 = 2$, maka:

$$t_a = \frac{s_B}{(Sf_1 \times Sf_2)}$$

$$= \frac{100}{(6 \times 2)}$$

$$= 8,33 \text{ kg/mm}^2$$

Kemudian dipilih $K_t = 1$ (sedikit tumbukan), $C_b = 1$ (untuk mengantisipasi adanya beban lentur), sehingga:

$$d_s = \left[\frac{5,1}{t_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left[\frac{5,1}{8,33} \times 1 \times 1 \times 6448,55 \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 16,8 \text{ mm}$$

Setelah itu, dilakukan pemilihan dimensi pasak, diambil $b = 10$, $h = 8$, dan $r = 0,5$, maka nilai a dan β yang di dapat dari diagram dapat dicari, yaitu:

Konsentrasi tegangan pada poros dengan alur pasak adalah:

$$\frac{r}{d_s} = \frac{0,5}{16,8} = 0,03 \quad ? \quad a = 2,4$$

Konsentrasi tegangan pada poros bertangga adalah:

$$\frac{D}{d_s} = \frac{19}{16,8} = 1,096 \quad ? \quad \beta = 1,$$

Tampak di sini bahwa $a > \beta$

Kemudian yang perlu dilakukan adalah menghitung nilai t dengan:

$$\begin{aligned} t &= \frac{5,1 \times T}{d_s^3} \\ &= \frac{5,1 \cdot 6448,55}{16,8^3} \\ &= 6,93 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai berikutnya yang perlu dihitung adalah:

$$\frac{t_a \cdot Sf_2}{a} = \frac{8,33 \cdot 2}{2,4} = 6,94 \text{ kg/mm}^2$$

kemudian diperbandingkan dengan:

$$t \times C_b \times K_t = 6,93 \cdot 1 \cdot 1 = 6,93 \text{ kg/mm}^2$$

Tampak bahwa persamaan kedua $<$ persamaan pertama, sehingga sudah baik.

4.6. Pasak

4.6.1. Pasak pada hubungan poros *stainless steel* – kopling cakar

Daya yang harus diteruskan sebesar 0,192 kW putaran 29 rpm; torsi yang harus ditransmisikan sebesar 6448,55 kg.mm; bahan pasak baja carbon S50C $s_B = 75 \text{ kg/mm}^2$. Jika telah diketahui bahwa $d_s = 16,8 \text{ mm}$, maka gaya tangensial pada permukaan poros adalah:

$$\begin{aligned} F &= \frac{T}{\left(\frac{d_s}{2}\right)} \\ &= \frac{6448,55}{\left(\frac{16,8}{2}\right)} \\ &= 767,68 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jika ditentukan dimensi pasak adalah:

Penampang pasak 5 x 30

Kedalaman alur pasak pada kopling cakar t_2 adalah 3 mm

Harga $S_{fk2} = 6$ dan harga $S_{fk2} = 1,4$, maka tegangan geser yang diijinkan adalah:

$$\begin{aligned} t_{ka} &= \frac{S_B}{S_{fk1} \cdot S_{fk2}} \\ &= \frac{75}{6 \times 1,4} \\ &= 8,93 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Panjang minimum l dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} t_k &= \frac{F}{l \times (t_1 \text{ atau } t_2)} \\ 8,93 &= \frac{767,68}{l \times 3} \\ l &= 28,66 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena panjang minimum masih lebih pendek dari panjang pasak yang direncanakan yaitu 30 mm, maka baik.

4.6.2. Pasak pada hubungan poros *pulley* besar – kopling cakar

Daya yang harus diteruskan sebesar 0,192 kW putaran 29 rpm; torsi yang harus ditransmisikan sebesar 6448,55 kg.mm; bahan pasak baja carbon S30C $s_B = 48 \text{ kg/mm}^2$. Jika telah diketahui bahwa $d_s = 16,8 \text{ mm}$, maka gaya tangensial pada permukaan poros adalah:

$$\begin{aligned} F &= \frac{T}{\left(\frac{d_s}{2}\right)} \\ &= \frac{6448,55}{\left(\frac{16,8}{2}\right)} \\ &= 767,68 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jika ditentukan dimensi pasak adalah:

Penampang pasak 10 x 50

Kedalaman alur pasak pada poros t_1 adalah 5 mm

Harga $S_{fk2} = 6$ dan harga $S_{fk2} = 1,5$; maka tegangan geser yang diijinkan adalah:

$$\begin{aligned}
 t_{ka} &= \frac{S_B}{Sf_{k1} \cdot Sf_{k2}} \\
 &= \frac{48}{6 \times 1,5} \\
 &= 5,33 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

Panjang minimum l dapat dicari dengan persamaan:

$$t_k = \frac{F}{l \times (t_1 \text{ atau } t_2)}$$

$$5,33 = \frac{767,68}{l \times 5}$$

$$l = 28,8 \text{ mm}$$

Karena panjang minimum masih lebih pendek dari panjang pasak yang direncanakan yaitu 50 mm, maka baik.

4.6.3. Pasak pada hubungan poros *pulley* besar – *pulley* besar

Daya yang harus diteruskan sebesar 0,192 kW putaran 120 rpm; torsi yang harus ditransmisikan sebesar 6448,55 kg.mm; bahan pasak baja carbon S30C $s_B = 48 \text{ kg/mm}^2$. Jika telah diketahui bahwa $d_s = 16,8 \text{ mm}$, maka gaya tangensial pada permukaan poros adalah:

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{T}{\left(\frac{d_s}{2}\right)} \\
 &= \frac{6448,55}{\left(\frac{16,8}{2}\right)} \\
 &= 767,68 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jika ditentukan dimensi pasak adalah:

Penampang pasak 8 x 50

Kedalaman alur pasak pada poros t_1 adalah 5 mm

Harga $Sf_{k2} = 6$ dan harga $Sf_{k1} = 1,5$; maka tegangan geser yang diijinkan adalah:

$$t_{ka} = \frac{S_B}{Sf_{k1} \cdot Sf_{k2}}$$

$$= \frac{48}{6 \times 1,5}$$

$$= 5,33 \text{ kg/mm}^2$$

Panjang minimum l dapat dicari dengan persamaan:

$$t_k = \frac{F}{l \times (t_1 \text{ atau } t_2)}$$

$$5,33 = \frac{767,68}{l \times 5}$$

$$l = 28,8 \text{ mm}$$

Karena panjang minimum masih lebih pendek dari panjang pasak yang direncanakan yaitu 50 mm, maka baik.

4.6.4. Pasak pada poros *pulley* kecil – *pulley* kecil

Daya yang harus diteruskan sebesar 0,192 kW putaran 120 rpm; torsi yang harus ditransmisikan sebesar 6448,55 kg.mm; bahan pasak baja karbon S50C $s_B = 75 \text{ kg/mm}^2$. Jika telah diketahui bahwa $d_s = 16,8 \text{ mm}$, maka gaya tangensial pada permukaan poros adalah:

$$F = \frac{T}{\left(\frac{d_s}{2}\right)}$$

$$= \frac{6448,55}{\left(\frac{16,8}{2}\right)}$$

$$= 767,68 \text{ kg}$$

Jika ditentukan dimensi pasak adalah:

Penampang pasak 6 x 38

Kedalaman alur pasak pada *pulley* kecil adalah 3 mm

Harga $Sf_{k2} = 6$ dan harga $Sf_{k2} = 1,5$; maka tegangan geser yang diijinkan adalah:

$$t_{ka} = \frac{s_B}{Sf_{k1} \cdot Sf_{k2}}$$

$$= \frac{75}{6 \times 1,5}$$

$$= 8,33 \text{ kg/mm}^2$$

Panjang minimum l dapat dicari dengan persamaan:

$$t_k = \frac{F}{l \times (t_1 \text{ atau } t_2)}$$

$$8,33 = \frac{767,68}{l \times 3}$$

$$l = 30,1 \text{ mm}$$

Karena panjang minimum hampir sama dengan panjang pasak yang direncanakan yaitu 30 mm, maka masih bisa dipakai.

4.6.5. Pasak pada poros *pulley* kecil – roda gigi

Daya yang harus diteruskan sebesar 0,192 kW putaran 120 rpm; torsi yang harus ditransmisikan sebesar 6448,55 kg.mm; bahan pasak baja carbon S55C $s_B = 80 \text{ kg/mm}^2$. Jika telah diketahui bahwa $d_s = 16,8 \text{ mm}$, maka gaya tangensial pada permukaan poros adalah:

$$\begin{aligned} F &= \frac{T}{\left(\frac{d_s}{2}\right)} \\ &= \frac{6448,55}{\left(\frac{16,8}{2}\right)} \\ &= 767,68 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jika ditentukan dimensi pasak adalah:

Penampang pasak 4 x 20

Kedalaman alur pasak pada roda gigi adalah 4 mm

Harga $Sf_{k2} = 6$ dan harga $Sf_{k1} = 1,5$; maka tegangan geser yang diijinkan adalah:

$$\begin{aligned} t_{ka} &= \frac{s_B}{Sf_{k1} \cdot Sf_{k2}} \\ &= \frac{80}{6 \times 1,5} \\ &= 8,9 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Panjang minimum l dapat dicari dengan persamaan:

$$t_k = \frac{F}{l \times (t_1 \text{ atau } t_2)}$$

$$8,9 = \frac{767,68}{l \times 4}$$

$$l = 21,56 \text{ mm}$$

Karena panjang minimum hampir sama dengan panjang pasak yang direncanakan yaitu 21 mm, maka masih bisa dipakai.

4.6.2. Pasak pada poros penggiling – roda gigi

Daya yang harus diteruskan sebesar 0,192 kW putaran 120 rpm; torsi yang harus ditransmisikan sebesar 6448,55 kg.mm; bahan pasak baja carbon S55C $s_B = 80 \text{ kg/mm}^2$. Jika telah diketahui bahwa $d_s = 16,8 \text{ mm}$, maka gaya tangensial pada permukaan poros adalah:

$$\begin{aligned} F &= \frac{T}{\left(\frac{d_s}{2}\right)} \\ &= \frac{6448,55}{\left(\frac{16,8}{2}\right)} \\ &= 767,68 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jika ditentukan dimensi pasak adalah:

Penampang pasak 4 x 20

Kedalaman alur pasak pada roda gigi adalah 4 mm

Harga $Sf_{k2} = 6$ dan harga $Sf_{k2} = 1,5$; maka tegangan geser yang diijinkan adalah:

$$\begin{aligned} t_{ka} &= \frac{s_B}{Sf_{k1} \cdot Sf_{k2}} \\ &= \frac{80}{6 \times 1,5} \\ &= 8,9 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Panjang minimum l dapat dicari dengan persamaan:

$$t_k = \frac{F}{l \times (t_1 \text{ atau } t_2)}$$

$$8,9 = \frac{767,68}{l \times 4}$$

$$l = 21,56 \text{ mm}$$

Karena panjang minimum hampir sama dengan panjang pasak yang direncanakan yaitu 21 mm, maka masih bisa dipakai.

4.7. Kopling Cakar

Kopling ini akan meneruskan daya P sebesar 0,192 kW; $n = 29$ rpm. Dari persamaan yang ada dapat ditentukan besarnya diameter dalam D_1 , diameter luar D_2 dan tinggi cakar h untuk suatu diameter poros d_s .

$$\begin{aligned} D_1 &= 1,2 \cdot d_s + 10 \\ &= 1,2 \cdot 16,8 + 10 \\ &= 30,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_2 &= 2 \cdot d_s + 25 \\ &= 2 \cdot 16,8 + 25 \\ &= 58,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= 0,5 \cdot d_s + 8 \\ &= 0,5 \cdot 16,8 + 8 \\ &= 16,4 \text{ mm diperkecil menjadi } 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen puntir yang harus ditransmisikan adalah 6448,55 kg.mm, maka jari-jari rata-rata r_m adalah:

$$\begin{aligned} r_m &= \frac{(D_1 + D_2)}{4} \\ &= \frac{(30,2 + 58,6)}{4} \\ &= 22,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya tangensialnya adalah:

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{T}{r_m} \\ &= \frac{6448,55}{22,2} \end{aligned}$$

$$= 290,475 \text{ kg}$$

Tegangan geser yang timbul:

$$\begin{aligned} t &= \frac{\left(\frac{8}{p}\right) F_t}{(D_2^2 - D_1^2)} \\ &= \frac{2,548 \times 290,474}{(58,6^2 - 30,2^2)} \\ &= 0,29 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Jika n adalah jumlah gigi, maka momen tahanan lentur yang bekerja

$$\begin{aligned} \text{adalah: } Z &= \frac{1}{2} \cdot \frac{(D_2 - D_1)}{2} \cdot \left[\frac{p(D_1 + D_2)}{4 \cdot n} \right]^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{(58,6 - 30,2)}{2} \cdot \left[\frac{3,14(30,2 + 58,6)}{4 \times 4} \right]^2 \\ &= 2156,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan lentur s_b adalah:

$$\begin{aligned} s_b &= \frac{F_t \cdot h}{n \cdot Z} \\ &= \frac{290,475 \times 10}{4 \times 2156,27} \\ &= 0,337 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan geser maksimum:

$$\begin{aligned} t_{max} &= \frac{\sqrt{s_b^2 + 4 \cdot t^2}}{2} \\ &= \frac{\sqrt{0,337^2 + 4 \times 0,29^2}}{2} \\ &= 0,3354 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Jika bahan yang dipilih adalah St60, maka:

$$\begin{aligned} t_a &= \frac{40}{6.2} \\ &= 3,33 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga jika t_{max} dan t_a dibandingkan, ternyata nilai t_{max} masih jauh lebih kecil, maka baik-baik saja.

4.8. Transmisi sabuk-V dan pulley

Telah diketahui daya yang akan ditransmisikan adalah 0,192 kW dan putaran pulley besar $n_1 = 29$ rpm, diameter poros pemanggang 35 mm, akan mengubah putaran n_2 menjadi 120 rpm, diameter poros kedua adalah 20 mm, maka:

$$\frac{n_1}{n_2} = i = \frac{D_P}{d_P} = \frac{1}{u} ; u = \frac{1}{i}$$

$$\begin{aligned} i &= \frac{29}{120} \\ &= 0,24 \end{aligned}$$

Jika dalam perencanaan sudah ditentukan bahwa jarak kedua poros C adalah 259,5 mm, maka:

$$\begin{aligned} T_1 &= 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n_1} \\ &= 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,192}{29} \\ &= 6448,55 \text{ kg.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n_2} \\ &= 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,192}{120} \\ &= 1558,4 \text{ kg.mm} \end{aligned}$$

Bahan poros adalah baja carbon 0,5% C, dimana $s_B = 58 \text{ kg/mm}^2$.

Jika Sf_1 dan Sf_2 adalah 6 dan 2, maka:

$$\begin{aligned} t_a &= \frac{58}{6.2} \\ &= 4,83 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

diambil nilai K_t dan C_b adalah 1,1 dan 1,2; maka:

$$\begin{aligned}
 d_{s1} &= \left[\frac{5,1}{t_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{\frac{1}{3}} \\
 &= \left[\frac{5,1}{4,83} \times 1,1 \times 1,2 \times 6448,55 \right]^{\frac{1}{3}} \\
 &= 20,78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai diameter ini masih lebih kecil dari yang direncanakan, maka baik

$$\begin{aligned}
 d_{s2} &= \left[\frac{5,1}{t_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{\frac{1}{3}} \\
 &= \left[\frac{5,1}{4,83} \times 1,1 \times 1,2 \times 1558,4 \right]^{\frac{1}{3}} \\
 &= 12,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai diameter ini masih lebih kecil dari yang direncanakan, maka baik

Jika dilihat pada table, penampang sabuk-V tipe A

$$d_{\min} = 95 \text{ mm}$$

Perhitungan berikutnya adalah penentuan nilai D_p , yaitu:

$$d_p = 145 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 D_p &= d_p \times i \\
 &= 145 \times 0,24 \\
 &= 34,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_k &= 145 + 2 \times 5,5 \\
 &= 156 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_k &= 34,8 + 2 \times 5,5 \\
 &= 45,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kemudian ditentukan juga diameter naf, yaitu:

$$\begin{aligned}
 d_B &= \frac{5}{3} \cdot d_{s1} + 10 \\
 &= \frac{5}{3} \cdot 20,78 + 10 \\
 &= 44,83 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_B &= \frac{5}{3} \cdot d_{s2} + 10 \\
 &= \frac{5}{3} \cdot 12,92 + 10 \\
 &= 31,53 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kecepatan linier sabuk-V adalah:

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{p \cdot D_p \cdot n_2}{60 \times 1000} \\
 &= \frac{3,14 \cdot 34,8 \cdot 120}{60000} \\
 &= 0,22 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Karena nilai v masih lebih kecil dari 30 m/s, maka masih baik.

Berikutnya, perlu diperiksa besarnya nilai:

$$C - \frac{1}{2} (d_k + D_k) > 0$$

$$260 - \frac{1}{2} (156 + 45,8) = 159,1 \text{ mm, maka masih baik}$$

Perhitungan panjang sabuk, yaitu:

$$\begin{aligned}
 L &= 2C + \frac{p}{2} (d_p + D_p) + \frac{1}{2} (D_p - d_p)^2 - \frac{C}{4C} (D_p - d_p)^2 \\
 &= 2C + \frac{p}{2} (d_p + D_p) + \frac{1}{4C} (D_p - d_p)^2 \\
 &= 2 \cdot 259,5 + 1,57 (180) + 0,00096 (111,8)^2 \\
 &= 813,6 \text{ mm} \sim 813 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, dapat dicari di pasaran dengan nomor B 32.

Kemudian:

$$\begin{aligned}
 b &= 2L - 3,14 (D_p - d_p) \\
 &= 2 \times 813 - 3,14 (111,8) \\
 &= 1274,948 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

sehingga

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{b + \sqrt{b^2 - 8 (D_p - d_p)^2}}{8} \\
 &= \frac{1274,98 + \sqrt{1274,98^2 - 8 (111,8)^2}}{8} \\
 &= 313,765 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Besarnya sudut kontak adalah:

$$\begin{aligned} \phi &= 180^\circ - \frac{57 (D_P - d_P)}{C} \\ &= 180^\circ - \frac{57 (111,8)}{313,765} \\ &= 159,69^\circ \quad K_\phi = 0,96 \end{aligned}$$

4.9. Poros *pulley* kecil – roda gigi

Sesuai tabel perencanaan, daya P yang telah dihitung terdahulu adalah daya rata-rata yang diperlukan, sehingga:

$$\begin{aligned} P_d &= f_c \cdot P \text{ (kW)} \\ &= 1,2 \cdot 0,16 \\ &= 0,192 \text{ kW} \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung besarnya momen puntir (momen rencana), yaitu T (kg.mm)

$$\begin{aligned} T &= 9,74 \times 10^5 \cdot \frac{P_d}{n_1} \\ &= 9,74 \times 10^5 \cdot \frac{0,192}{120} \\ &= 1558,4 \text{ kg.mm} \end{aligned}$$

Nilai s_B adalah 75 (kg/mm²), jika diambil besarnya $Sf_1 = 6,0$ dan $Sf_2 = 3$, maka:

$$\begin{aligned} t_a &= \frac{s_B}{(Sf_1 \times Sf_2)} \\ &= \frac{75}{(6 \times 3)} \\ &= 4,2 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Kemudian dipilih $K_t = 1,1$ (sedikit tumbukan), $C_b = 1,1$; sehingga:

$$d_s = \left[\frac{5,1}{t_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left[\frac{5,1}{4,2} \times 1,1 \times 1,1 \times 1558,4 \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 13,18 \text{ mm}$$

Setelah itu, dilakukan pemilihan dimensi pasak, diambil $b = 6$, $h = 3$, dan $r = 0,5$, maka nilai a dan β yang di dapat dari diagram dapat dicari, yaitu:

Konsentrasi tegangan pada poros dengan alur pasak adalah:

$$\frac{r}{d_s} = \frac{0,5}{13,18} = 0,04 \quad ? \quad a = 2,3$$

Konsentrasi tegangan pada poros bertangga adalah:

$$\frac{D}{d_s} = \frac{20}{13,18} = 1,52 \quad ? \quad \beta = 1,85$$

Tampak di sini bahwa $a > \beta$

Kemudian yang perlu dilakukan adalah menghitung nilai t dengan:

$$t = \frac{5,1 \times T}{d_s^3}$$

$$= \frac{5,1 \cdot 1558,4}{13,18^3}$$

$$= 3,5 \text{ kg/mm}^2$$

Nilai berikutnya yang perlu dihitung adalah:

$$\frac{t_a \cdot Sf_2}{a} = \frac{4,2 \cdot 3}{2,3} = 5,5 \text{ kg/mm}^2$$

Kemudian diperbandingkan dengan:

$$t \times C_b \times K_r = 3,5 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 4,235 \text{ kg/mm}^2$$

Tampak bahwa persamaan kedua $<$ persamaan pertama, sehingga sudah baik.

4.10. Poros penggiling

Sesuai tabel perencanaan, daya P yang telah dihitung terdahulu adalah daya rata-rata yang diperlukan, sehingga:

$$P_d = f_c \cdot P \text{ (kW)}$$

$$= 1,2 \cdot 0,16$$

$$= 0,192 \text{ kW}$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung besarnya momen puntir (momen rencana), yaitu T (kg.mm)

$$\begin{aligned} T &= 9,74 \times 10^5 \cdot \frac{P_d}{n_1} \\ &= 9,74 \times 10^5 \cdot \frac{0,192}{120} \\ &= 1558,4 \text{ kg.mm} \end{aligned}$$

Nilai s_B adalah $75 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$, jika diambil besarnya $Sf_1 = 6,0$ dan $Sf_2 = 3$, maka:

$$\begin{aligned} t_a &= \frac{s_B}{(Sf_1 \times Sf_2)} \\ &= \frac{75}{(6 \times 3)} \\ &= 4,2 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Kemudian dipilih $K_t = 1,1$ (sedikit tumbukan), $C_b = 1,1$; sehingga:

$$\begin{aligned} d_s &= \left[\frac{5,1}{t_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{\frac{1}{3}} \\ &= \left[\frac{5,1}{4,2} \times 1,1 \times 1,1 \times 1558,4 \right]^{\frac{1}{3}} \\ &= 13,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

Setelah itu, dilakukan pemilihan dimensi pasak, diambil $b = 6$, $h = 3$, dan $r = 0,5$, maka nilai a dan β yang di dapat dari diagram dapat dicari, yaitu:

Konsentrasi tegangan pada poros dengan alur pasak adalah:

$$\frac{r}{d_s} = \frac{0,5}{13,18} = 0,04 \quad ? \quad a = 2,3$$

Konsentrasi tegangan pada poros bertangga adalah:

$$\frac{D}{d_s} = \frac{20}{13,18} = 1,52 \quad ? \quad \beta = 1,85$$

Tampak di sini bahwa $a > \beta$

Kemudian yang perlu dilakukan adalah menghitung nilai t dengan:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{5,1 \times T}{d_s^3} \\
 &= \frac{5,1.1558,4}{13,18^3} \\
 &= 3,5 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

Nilai berikutnya yang perlu dihitung adalah:

$$\frac{t_a \cdot Sf_2}{a} = \frac{4,2.3}{2,3} = 5,5 \text{ kg/mm}^2$$

Kemudian diperbandingkan dengan:

$$t \times C_b \times K_t = 3,5 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 4,235 \text{ kg/mm}^2$$

Tampak bahwa persamaan kedua < persamaan pertama, sehingga sudah baik.

4.11. Roda gigi

Roda gigi ini hanya difungsikan untuk merubah arah putaran, dan bukan untuk mereduksi putaran, sehingga yang diperlukan adalah dua buah roda gigi yang sama karakteristiknya.

Jika akan ditransmisikan:

Daya	= 0,192 kW
Poros penggerak	= 29 rpm
Poros yang digerakkan	= 29 rpm
Modul	= 1,75
Jumlah gigi	= 55
Sudut tekan	= 20°

Maka dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 i &= 1 \\
 a &= \frac{(d_1 + d_2)}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2} \\
 &= \frac{1,75 \times (55 + 55)}{2} \\
 &= 96,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dan diameter lingkaran jarak baginya adalah:

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \frac{2a}{(1+i)} \\
 &= \frac{2.96,25}{(1+1)} \\
 &= 96,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_2 &= \frac{2a \cdot i}{(1+i)} \\
 &= 96,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya perhitungan yang akan dilakukan hanya pada satu roda gigi saja karena hal yang sama akan dialami oleh roda gigi yang lain.

Diameter lingkaran kepalanya adalah:

$$\begin{aligned}
 d_K &= (Z + 2) \cdot m \\
 &= (55 + 2) 1,75 \\
 &= 99,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Diameter lingkaran dasar:

$$\begin{aligned}
 d_g &= Z \cdot m \cos a_0 \\
 &= 55 \times 1,75 \cos 20^\circ \\
 &= 90,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak bagi:

$$\begin{aligned}
 t_0 &= p \cdot m \\
 &= 3,14 \times 1,75 \\
 &= 5,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak bagi normal:

$$\begin{aligned}
 t_e &= p \cdot m \cdot \cos a_0 \\
 &= 3,14 \times 1,75 \times \cos 20^\circ \\
 &= 5,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kelonggaran puncak:

$$\begin{aligned}
 c_k &= 0,25 \cdot m \\
 &= 0,25 \times 1,75 \\
 &= 0,4375 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tinggi gigi (kedalaman pemotongan):

$$\begin{aligned}
 H &= 2 \cdot m + c_k \\
 &= 2 \times 1,75 + 0,4375 \\
 &= 3,9375 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Faktor bentuk gigi didapatkan dari tabel, dan jika jumlah gigi adalah 55, maka:

$$Y = 0,4145$$

Kecepatan keliling kedua roda gigi tersebut adalah:

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{p d_{b1} n_1}{60 \times 1000} \\
 &= \frac{p 96,25 \times 120}{60 \times 1000} \\
 &= 0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Gaya tangensial yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned}
 F_t &= \frac{102 P_d}{v} \\
 &= \frac{102 \times 0,192}{0,6} \\
 &= 32,64 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Pada tabel juga telah diperlihatkan perumusan yang harus dipakai untuk menghitung faktor dinamis f_v untuk beberapa kecepatan keliling, sehingga:

$$\begin{aligned}
 f_v &= \frac{3}{3+v} \\
 &= \frac{3}{3+0,6} \\
 &= 0,833
 \end{aligned}$$

Bahan kedua roda gigi tersebut adalah sama, sehingga spesifikasi sifat mekanisnya pun sama, yaitu:

$$\begin{aligned}
 \text{Kekuatan tarik } s_B &= 58 \text{ kg/mm}^2 \\
 \text{Kekerasan Brinell } H_B &= 200 \text{ (rata-rata)} \\
 \text{Tegangan lentur yang diijinkan } s_a &= 30 \text{ kg/mm}^2 \\
 \text{Jika diambil faktor tegangan kontak pada tabel, yaitu:} \\
 k_H &= 0,053 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka besarnya beban lentur yang diijinkan per satuan lebar sisi dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F'_b &= s_a \cdot m \cdot Y \cdot f_v \\ &= 30 \times 1,75 \times 0,4145 \times 0,833 \\ &= 18,13 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

Maka, lebar sisi b dapat diperoleh dari:

$$\begin{aligned} b &= \frac{F_t}{F'_t} \\ &= \frac{32,64}{18,13} \\ &= 1,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Namun pada roda gigi yang akan dipasang nanti lebarnya adalah 20mm.

Spesifikasi poros serta pasak yang dipergunakan sudah dihitung pada perhitungan sebelumnya.

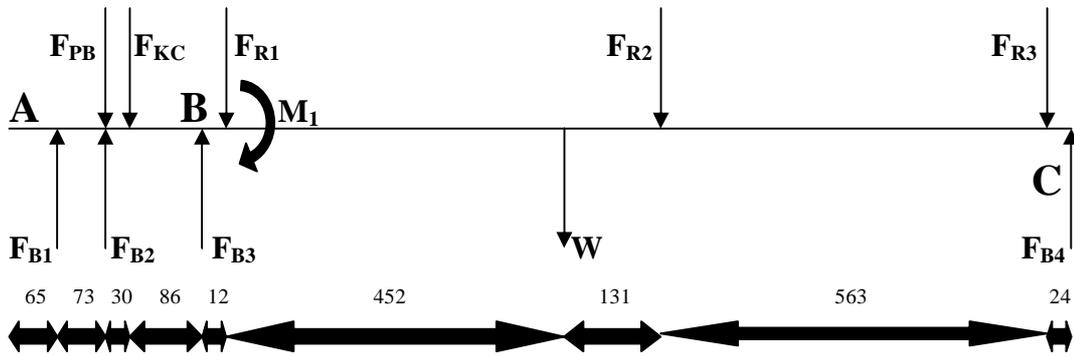
Yang terakhir adalah perhitungan:

$$\begin{aligned} \frac{b}{m} &= \frac{15}{1,75} = 8,57 ? \text{ baik} \\ \frac{d}{b} &= \frac{96,25}{15} = 6,42 ? \text{ baik} \\ \frac{S_{K1}}{m} &= \frac{20}{1,75} = 11,43 ? \text{ baik} \end{aligned}$$

4.12. Bantalan Gelinding

Pada bagian ini perhitungan yang dilakukan adalah hanya pada umur bantalan setelah terlebih dahulu ditentukan jenis bantalan yang digunakan. Untuk bantalan gelinding yang dipergunakan adalah bantalan jenis *deep groove ball bearing* / bantalan bola radial alur dalam baris tunggal.

Untuk perhitungan ini diperlukan diagram gaya pada poros.



Gambar 4.1. Diagram Gaya pada Poros Pemanggang (keadaan awal)

Reaksi ditentukan dengan memperhatikan keseluruhan poros sebagai benda bebas.

a. Keadaan awal

Yang dimaksud keadaan awal adalah keadaan sesaat sebelum motor bergerak.

$$\begin{aligned}
 SM_A &= 0 \\
 &= F_{B1} (65) + F_{B2} (138) - F_{PB} (138) - F_{KC} (168) + F_{B3} (254) \\
 &\quad - F_{R1} (266) - M_1 - W (718) - F_{R2} (849) - F_{R3} (1412) + \\
 &\quad F_{B4} (1436)
 \end{aligned}$$

$$17288,3 \text{ kg.mm} = F_{B1} (65) + F_{B3} (254) + F_{B4} (1436)$$

$$\begin{aligned}
 SF_Y &= 0 \\
 &= F_{B1} + F_{B2} - F_{PB} - F_{KC} + F_{B3} - F_{R1} - W - F_{R2} - F_{R3} + F_{B4}
 \end{aligned}$$

$$21,092 \text{ kg} = F_{B1} + F_{B3} + F_{B4}$$

Dimana:

F_{B1} = Gaya reaksi bantalan gelinding pertama

F_{B2} = Gaya reaksi bantalan gelinding kedua dan besarnya sama dengan berat pulley besar (4,511 kg)

F_{PB} = Gaya berat pulley besar (4,511 kg)

F_{KC} = Gaya berat kopleng cakar (1,084 kg)

F_{B3} = Gaya reaksi bantalan gelinding ketiga

F_{R1} = Gaya resultan beban terdistribusi, yang merupakan

- gabungan antara gaya berat mur, gaya berat penutup silinder, dan gaya berat pembalans (4,418 kg)
- M_1 = Momen yang disebabkan karena gaya berat yang terdistribusi pada silinder, dan merupakan gabungan dari momen bending karena gaya berat silinder dan gaya berat ring silinder (1160,38 kg.mm)
- W = Merupakan gaya berat poros pemanggang dan poros pulley besar, diasumsikan keduanya adalah satu dan uniform (5,217 kg)
- F_{R2} = Gaya berat rumah bantalan luncur dan bantalannya serta setengah beban biji kopi dan setengah beban setengah (setengah beban karena beban tersebut seperti menggantung) ditambah lagi penutup setengah tabung bagian depan (4,647kg)
- F_{R3} = Gaya berat rumah bantalan luncur dan bantalannya serta setengah beban biji kopi dan setengah beban setengah tabung (setengah beban karena beban tersebut seperti menggantung) ditambah lagi penutup setengah tabung bagian belakang (5,006kg)
- F_{B4} = Gaya reaksi bantalan gelinding keempat

Karena ada tiga komponen gaya yang tidak diketahui, maka poros tersebut harus dipotong menjadi bagian yang lebih kecil terlebih dulu. Diambil potongan dari titik A ke titik B yang terletak tepat pada gaya reaksi bearing ketiga, sehingga:

$$\begin{aligned}
 SM_B &= 0 \\
 &= F_{B1} (189) - F_{KC} (86) - \frac{W}{1436} \cdot 254.127 \\
 F_{B1} &= \frac{1,804.86 + 0,93.127}{189} \\
 &= 1,45 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dalam perhitungan di atas, komponen F_{PB} dan F_{B2} tidak diperhitungkan karena saling meniadakan.

Kemudian untuk menghitung besarnya komponen F_{B4} , kita mengambil potongan kedua, sehingga:

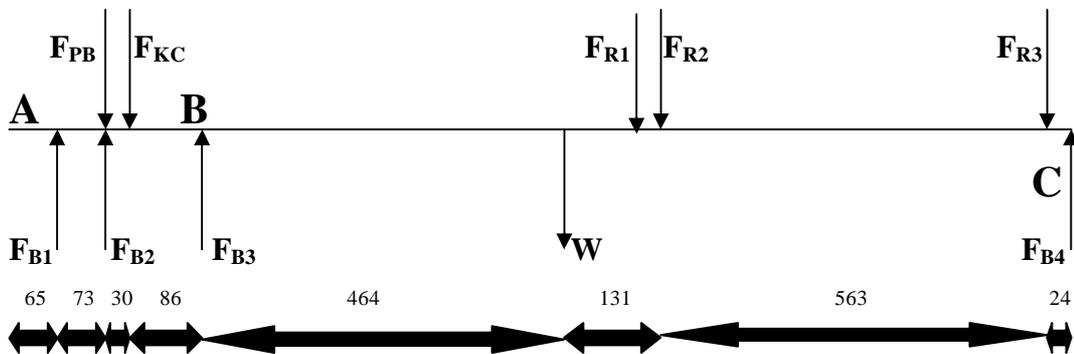
$$\begin{aligned}
 SM_B &= 0 \\
 &= F_{R1}(12) + M_I + F_{R2}(595) + F_{R3}(1158) - F_{B4}(1182) + \\
 &\quad \frac{W}{1436} \cdot 1182 \cdot 591 \\
 F_{B4} &= \frac{53,016 + 1160,38 + 2764,965 + 5796,95 + 2537,9}{1182} \\
 &= 10,4 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Sehingga besarnya F_{B3} dapat dicari dengan memasukkan nilai yang telah ada ke persamaan terdahulu, yaitu:

$$\begin{aligned}
 21,092 \text{ kg} &= F_{B1} + F_{B3} + F_{B4} \\
 &= 1,45 + F_{B3} + 10,4 \\
 F_{B3} &= 9,242 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Keadaan kedua

Yang dimaksud keadaan kedua adalah keadaan di mana setengah tabung sudah tertutup seluruhnya.



Gambar 4.2. Diagram Gaya pada Poros Pemanggang (keadaan kedua)

$$\begin{aligned}
 SM_A &= 0 \\
 &= F_{B1}(65) + F_{B2}(138) - F_{PB}(138) - F_{KC}(168) + F_{B3}(254) \\
 &\quad - F_{R1}(829) - W(718) - F_{R2}(849) - F_{R3}(1412) + F_{B4}(1436) \\
 22653,3 \text{ kg.mm} &= F_{B1}(65) + F_{B3}(254) + F_{B4}(1436)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F_Y &= 0 \\ &= F_{B1} + F_{B2} - F_{PB} - F_{KC} + F_{B3} - F_{R1} - W - F_{R2} - F_{R3} + F_{B4} \end{aligned}$$

$$24,481 \text{ kg} = F_{B1} + F_{B3} + F_{B4}$$

Di mana:

F_{B1} = Gaya reaksi bantalan gelinding pertama

F_{B2} = Gaya reaksi bantalan gelinding kedua dan besarnya sama dengan berat pulley besar (4,511 kg)

F_{PB} = Gaya berat pulley besar (4,511 kg)

F_{KC} = Gaya berat kopling cakar (1,084 kg)

F_{B3} = Gaya reaksi bantalan gelinding ketiga

M_1 = Momen yang disebabkan karena gaya berat yang terdistribusi pada silinder, dan merupakan gabungan dari momen bending karena gaya berat silinder dan gaya berat ring silinder (1160,38kg.mm)

W = Merupakan gaya berat poros pemanggang dan poros pulley besar, diasumsikan keduanya adalah satu dan uniform (5,217 kg)

$F_{R1} = F_{R2} = F_{R3}$ = Gaya resultan beban terdistribusi, yang merupakan gabungan antara ketiga gaya resultan, ditambah gaya berat silinder F_S dan gaya berat ring silinder F_{RS} , dan kesemuanya itu dibagi tiga sama besar (6,06 kg)

F_{B4} = Gaya reaksi bantalan gelinding keempat

Karena ada tiga komponen gaya yang tidak diketahui, maka poros tersebut harus dipotong menjadi bagian yang lebih kecil terlebih dulu. Diambil potongan dari titik A ke titik B yang terletak tepat pada gaya reaksi bearing ketiga, sehingga:

$$\begin{aligned} \sum M_B &= 0 \\ &= F_{B1} (189) - F_{KC} (86) - \frac{W}{1436} \cdot 254.127 \end{aligned}$$

$$F_{B1} = \frac{1,804.86 + 0,93.127}{189}$$

$$= 1,45 \text{ kg}$$

Dalam perhitungan di atas, komponen F_{PB} dan F_{B2} tidak diperhitungkan karena saling meniadakan.

Kemudian untuk menghitung besarnya komponen F_{B4} , kita mengambil potongan kedua, sehingga:

$$\begin{aligned} SM_B &= 0 \\ &= F_{R1} (563) + F_{R2} (595) + F_{R3} (1158) - F_{B4} (1182) + \\ &\quad \frac{W}{1436} \cdot 1182 \cdot 591 \\ F_{B4} &= \frac{3411,78 + 3605,7 + 7017,48 + 2537,9}{1182} \\ &= 14,02 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya F_{B3} dapat dicari dengan memasukkan nilai yang telah ada ke persamaan terdahulu, yaitu:

$$\begin{aligned} 24,481 \text{ kg} &= F_{B1} + F_{B3} + F_{B4} \\ &= 1,45 + F_{B3} + 14,02 \\ F_{B3} &= 9,011 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jika dibandingkan antara keadaan awal maupun keadaan kedua, tampak bahwa gaya reaksi bearing tidak selalu sama, jadi yang kita ambil adalah yang lebih besar, yaitu:

$$\begin{aligned} F_{B1} &= 1,45 \text{ kg} \\ F_{B2} &= 4,511 \text{ kg} \\ F_{B3} &= 9,242 \text{ kg} \\ F_{B4} &= 14,02 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jadi umur bearing dapat dicari dengan:

$$F_R = \sqrt{F_v^2 + F_h^2}$$

Di mana:

F_v = komponen gaya vertikal

F_h = komponen gaya horizontal

F_R = resultan kedua komponen gaya

c. Bearing 1

$$F_R = \sqrt{1,45^2 + 0}$$

$$= 1,45 \text{ kg}$$

Umur bantalan jika:

$$V = 1$$

$$X = 0,56$$

Tipe 6006

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$D = 55 \text{ mm}$$

$$B = 13 \text{ mm}$$

$$r = 1,5 \text{ mm}$$

$$C = 1030 \text{ kg}$$

$$C_0 = 740 \text{ kg}$$

$$a_1 = a_2 = a_3 = 1$$

$$n = 29 \text{ rpm}$$

Maka:

$$P = X.V.F_R$$

$$= 0,56 \times 1 \times 1,45$$

$$= 0,812 \text{ kg}$$

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left(\frac{33,3}{29} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 1,047$$

$$f_h = f_n \cdot \frac{C}{P}$$

$$= 1,047 \cdot \frac{1030}{0,812}$$

$$= 1328,1$$

$$\begin{aligned}
 L_h &= 500 \cdot f_h^3 \\
 &= 500 \cdot 1328,1^3 \\
 &= 1,17 \times 10^{12}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_n &= a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_h \\
 &= 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,17 \times 10^{12} \\
 &= 1,17 \times 10^{12} \text{ jam}
 \end{aligned}$$

d. Bearing 2

$$\begin{aligned}
 F_R &= \sqrt{4,511^2 + 0} \\
 &= 4,511 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Umur bantalan jika:

$$V = 1,2$$

$$X = 0,56$$

Type 6006

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$D = 55 \text{ mm}$$

$$B = 13 \text{ mm}$$

$$r = 1,5 \text{ mm}$$

$$C = 1030 \text{ kg}$$

$$C_0 = 740 \text{ kg}$$

$$a_1 = a_2 = a_3 = 1$$

$$n = 29 \text{ rpm}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 P &= X \cdot V \cdot F_R \\
 &= 0,56 \times 1,2 \times 4,511 \\
 &= 3,03 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left(\frac{33,3}{29} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 1,047$$

$$f_h = f_n \cdot \frac{C}{P}$$

$$= 1,047 \cdot \frac{1030}{3,03}$$

$$= 355,9$$

$$L_h = 500 \cdot f_h^3$$

$$= 500 \cdot 355,9^3$$

$$= 2,25 \times 10^{10}$$

$$L_n = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_h$$

$$= 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,25 \times 10^{10}$$

$$= 2,25 \times 10^{10} \text{ jam}$$

e. Bearing 3

$$F_R = \sqrt{9,242^2 + 0}$$

$$= 9,242 \text{ kg}$$

Umur bantalan jika:

$$V = 1$$

$$X = 0,56$$

Type 6003

$$d = 17 \text{ mm}$$

$$D = 35 \text{ mm}$$

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

$$r = 0,5 \text{ mm}$$

$$C = 470 \text{ kg}$$

$$C_0 = 296 \text{ kg}$$

$$a_1 = a_2 = a_3 = 1$$

$$n = 29 \text{ rpm}$$

Maka:

$$\begin{aligned} P &= X.V.F_R \\ &= 0,56 \times 1 \times 9,242 \\ &= 5,18 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_n &= \left(\frac{33,3}{n} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left(\frac{33,3}{29} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 1,047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_h &= f_n \cdot \frac{C}{P} \\ &= 1,047 \cdot \frac{470}{5,18} \\ &= 95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_h &= 500 \cdot f_h^3 \\ &= 500 \cdot 95^3 \\ &= 428687500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_n &= a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_h \\ &= 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 428687500 \\ &= 428687500 \text{ jam} \end{aligned}$$

f. Bearing 4

$$\begin{aligned} F_R &= \sqrt{14,02^2 + 0} \\ &= 14,02 \text{ kg} \end{aligned}$$

Umur bantalan jika:

$$\begin{aligned} V &= 1 \\ X &= 0,56 \end{aligned}$$

Type 6004

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$D = 42 \text{ mm}$$

$$B = 12 \text{ mm}$$

$$r = 1 \text{ mm}$$

$$C = 735 \text{ kg}$$

$$C_0 = 465 \text{ kg}$$

$$a_1 = a_2 = a_3 = 1$$

$$n = 29 \text{ rpm}$$

Maka:

$$\begin{aligned} P &= X.V.F_R \\ &= 0,56 \times 1 \times 14,02 \\ &= 7,85 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_n &= \left(\frac{33,3}{n} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left(\frac{33,3}{29} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 1,047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_h &= f_n \cdot \frac{C}{P} \\ &= 1,047 \cdot \frac{735}{7,85} \\ &= 98,03 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_h &= 500 \cdot f_h^3 \\ &= 500 \cdot 98,03^3 \\ &= 471028312,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_n &= a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_h \\ &= 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 471028312,3 \\ &= 471028312,3 \text{ jam} \end{aligned}$$

4.13. Bantalan luncur

Yang perlu dicari di sini adalah besarnya beban bantalan W (kg).
Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$W = w \cdot l$$

Di mana:

W = beban bantalan (kg)

w = beban per satuan panjang (kg/mm)

l = panjang bantalan (mm)

Beban W yang disangga oleh bantalan adalah sebesar gaya F_{R2} dan F_{R3} pada perhitungan bantalan gelinding terdahulu, yaitu sebesar:

$$W_1 = 6,06 \text{ kg}$$

$$W_2 = 6,06 \text{ kg}$$

Dipilih nilai sebesar tersebut di atas karena perubahan posisi mekanisme ikut merubah besarnya gaya reaksi bantalan yang terjadi, sehingga perlu diambil nilai yang terbesar.

4.13.1. Bantalan luncur kecil

Sesuai dengan rumus:

$$d = \sqrt[3]{5,1 \cdot W \cdot \frac{l}{s_a}}$$

Dimana:

d = diameter minimum yang diijinkan (mm)

W = Beban bantalan (kg)

l = Panjang bantalan (mm)

s_a = Tegangan lentur yang diijinkan (kg/mm^2)

Sehingga:

$$\begin{aligned} d &= \sqrt[3]{5,1 \cdot W \cdot \frac{l}{s_a}} \\ &= \sqrt[3]{5,1 \cdot 6,06 \cdot \frac{20}{1,2}} \end{aligned}$$

$$= 8 \text{ mm}$$

Jika telah diambil nilai d adalah 35 mm, maka sangat aman.

Berikutnya dilihat nilai perbandingan l/d .

$$\frac{l}{d} = \frac{20}{35} = 0,6 ? \text{ sangat baik.}$$

4.13.2. Bantalan luncur besar

Sesuai dengan rumus:

$$d = \sqrt[3]{5,1.W \cdot \frac{l}{s_a}}$$

Di mana:

d = diameter minimum yang diijinkan (mm)

W = Beban bantalan (kg)

l = Panjang bantalan (mm)

s_a = Tegangan lentur yang diijinkan (kg/mm^2)

Sehingga:

$$\begin{aligned} d &= \sqrt[3]{5,1.W \cdot \frac{l}{s_a}} \\ &= \sqrt[3]{5,1 \cdot 6,06 \cdot \frac{50}{1,2}} \\ &= 10,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

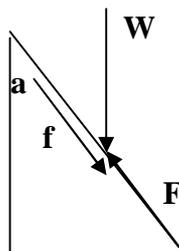
Jika telah diambil nilai d adalah 35 mm, maka sangat aman.

Berikutnya dilihat nilai perbandingan l/d .

$$\frac{l}{d} = \frac{50}{35} = 1,43 ? \text{ sangat baik.}$$

4.14. Ulir penggerak

Proses perhitungan dimulai dari menghitung gesekan yang terjadi pada:



Gambar 4.3. Diagram Gaya pada Penampang Ulir Penggerak

4.14.1. Ulir penggerak – mur

Dengan spesifikasi yang sudah diambil dari tabel, yaitu:

Diameter poros = 1 inch = 25,4 mm

Jumlah ulir per 1 inch = 4

Tinggi ulir = 0,1357 inch = 3,45 mm

Pitch = 6,35 mm

Diameter efektif = 23,675 mm

Untuk jarak 1 inch terdapat 4 ulir sehingga:

$$\begin{aligned} l &= n \cdot p \\ &= 4 \times 6,35 \\ &= 25,4 \end{aligned}$$

Sehingga nilai a dapat ditentukan dengan:

$$\begin{aligned} \tan a &= \frac{n \cdot p}{p \cdot d_e} \\ &= \frac{4 \cdot 6,35}{p \cdot 23,675} \\ &= 0,34 \end{aligned}$$

maka:

$$a = 18,78^\circ$$

Untuk satu kisar ulir:

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{l}{\sin a} \cdot \text{tinggi ulir} \\ &= \frac{25,4}{\sin 18,78^\circ} \cdot 3,45 \\ &= 272,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

karena terdapat dua sisi yang bersinggungan, maka:

Luas untuk 1 kisar ulir adalah $272,2 \times 2 = 544,4 \text{ mm}^2$

Dan jika yang akan bersinggungan adalah ulir penggerak dengan mur sepanjang 50 mm, maka akan terdapat 8 kisar ulir, sehingga yang akan bersinggungan seluas $544,4 \times 8 = 4355,2 \text{ mm}^2$

4.14.2. Lalan silinder – Penutup silinder

Luas permukaannya adalah $50 \times 10 = 500 \text{ mm}^2$

4.14.3. Silinder – Setengah tabung

Luas permukaannya adalah $p \times 28,6 \times 500 = 44902 \text{ mm}^2$

Sedangkan gaya yang terjadi pada kontak itu adalah:

4.14.4. Ulir penggerak – mur

Yang bekerja di sini adalah gaya beratnya, yaitu:

Gaya berat mur poros = 0,654 kg

Gaya berat penutup silinder = 1,157 kg

Gaya berat plat pembalans = 1,45 kg

Maka gaya berat total yang bekerja adalah 3,261 kg, gaya ini bekerja pada luasan $4355,2 \text{ mm}^2$

Gaya gesek yang ditimbulkannya adalah:

$$f = \mu \cdot N$$

Di mana μ adalah koefisien gesek antara bahan mur dan bahan poros yang besarnya adalah 0,25 untuk baja – baja, sehingga:

$$\begin{aligned} f &= 0,25 \times 3,261 \\ &= 0,82 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.14.5. Lalan silinder – Penutup silinder

Gaya yang bekerja di sini adalah gaya keliling yang disebabkan oleh torsi total. Jika besarnya torsi adalah: 0,659 kg.m. untuk mengubah torsi ini menjadi gaya keliling, maka:

$$F = \frac{T}{r}$$

Di mana:

F = gaya keliling

T = torsi

r = lengan torsi (jari-jari terluar penutup silinder)

sehingga:

$$\begin{aligned} F &= \frac{0,659}{0,164} \\ &= 4,02 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya ini bekerja pada luasan 500 mm^2 . Besarnya μ adalah sebesar 0,25, sehingga gaya geseknya adalah sebesar:

$$\begin{aligned} f &= \mu \cdot N \\ &= 0,25 \times 4,02 \\ &= 1,005 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.14.6. Silinder – Setengah tabung

Selain gaya berat setengah tabung, ikut bekerja di sini gaya berat biji-biji kopi, sehingga:

Gaya berat setengah tabung = 1,66 kg

Gaya berat kopi = 5 kg

Gaya-gaya ini bekerja pada luasan 44902 mm^2 . Koefisien gesek μ adalah sebesar 0,25, sehingga:

$$\begin{aligned} f &= \mu \cdot N \\ &= 0,25 \times 6,66 \\ &= 1,665 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka besarnya gaya gesek total adalah 3,49 kg. Jika gaya ini diterapkan pada kontak antara mur dengan ulir penggerak, maka:

W = 3,261 kg

$$\begin{aligned} N &= W \sin a \\ &= 3,261 \sin 18,78^\circ \\ &= 1,05 \text{ kg} \end{aligned}$$

f = 3,49 kg

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 SF_x &= 0 \\
 &= W \sin a \cos a + f \sin a - F \sin a = 0 \\
 &= 1,05 \cos 18,78^\circ + 3,49 \sin 18,78^\circ - F \sin 18,78^\circ \\
 F \sin 18,78^\circ &= 2,1 \\
 F &= 6,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Komponen gaya ini bukanlah gaya keliling yang dibutuhkan, karena arah gayanya seharusnya berlawanan dengan W , sehingga gaya keliling yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned}
 F_{kel} &= F \cos a \\
 &= 6,5 \cos 18,78 \\
 &= 6,15 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Gaya ini dapat diubah menjadi torsi dengan cara mengalikannya dengan jari-jari efektif ulir, yaitu:

$$\begin{aligned}
 T &= F_{kel} \cdot r_e \\
 &= 6,15 \cdot 0,01184 \\
 &= 0,073 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Jika torsi ini dijumlahkan dengan torsi pada perhitungan sebelumnya, maka:

$$\begin{aligned}
 T &= 0,659 + 0,073 \\
 &= 0,732 \text{ kg.m} \\
 P &= \frac{T.n}{716,2} \\
 &= 0,03 \text{ HP} = 0,022 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Sehingga motor masih dapat mentransmisikan dayanya.

4.15. Motor-motor pendukung

Motor-motor ini digunakan untuk mengatur jalannya laluan silinder, membuka-menutup kran gas, dan memindahkan posisi kopling cakar.

4.15.1. Motor pemindah kopling cakar

Motor DC ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Arus : 3 Ampere

Tegangan : 12 volt

Putaran : 30 rpm

Dengan spesifikasi tersebut di atas, daya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= V \cdot i \\ &= 12 \cdot 3 \\ &= 36 \text{ Watt} = 0,036 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= 9,74 \times 10^5 \frac{P}{n} \\ &= 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,036}{30} \\ &= 11,688 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Torsi ini akan ditransmisikan pada jarak 0,03 m, sehingga gaya yang akan dihasilkan adalah:

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{T}{r} \\ &= \frac{11,688}{0,03} \\ &= 389,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan berikutnya adalah pada gaya yang diperlukan untuk menggeser kopling cakar. Hal-hal yang perlu diperhitungkan adalah gaya gesek yang terjadi antara kopling cakar dengan porosnya, serta gaya gesek yang timbul karena torsi motor.

Gaya gesek pada hubungan kopling cakar dengan porosnya dapat dihitung dengan menghitung gaya reaksi yang timbul pada poros akibat gaya berat kopling cakar serta gaya tangensial yang timbul pada pasak.

Jika diketahui bahwa gaya berat kopling cakar adalah 1,084 kg, maka gaya gesek yang akan ditimbulkannya adalah

$$\begin{aligned} f &= m \cdot W \\ &= 0,11 \times 1,084 \\ &= 0,119 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari spesifikasi motor yang dipakai, diketahui bahwa

$$Tipe = 58$$

$$Reduction\ ratio = 1/50$$

$$Input\ HP = 1,125$$

$$Output\ Torque = 24,8$$

$$OHL = 594,7$$

Jadi jika torsi maksimal yang mampu ditransmisikan motor utama adalah 24,8 Nm = 2,53 kg.m. Torsi inilah yang akan kita gunakan sebagai bahan perhitungan.

Gaya tangensial pada pasak adalah gaya tangensial yang terjadi karena torsi pada jari-jari terluar pasak, yaitu pada jarak 17,5 mm sehingga gaya tangensial yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{T}{r} \\ &= \frac{2,53}{0,0175} \\ &= 144,57\text{ kg} \end{aligned}$$

Maka gaya gesek yang terjadi antara baja dengan baja (dengan pelumasan) adalah:

$$\begin{aligned} f &= m \cdot F_t \\ &= 0,11 \times 144,57 \\ &= 15,9\text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya gesek yang ketiga adalah yang terjadi pada jari-jari terluar kopling cakar, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{T}{r} \\ &= \frac{2,53}{0,03} \\ &= 84,33\text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya ini harus dikalikan koefisien gesek μ , yaitu antara baja dengan baja (dibantu pelumasan) yang nilainya sebesar 0,11, sehingga gaya yang harus dilawan adalah sebesar:

$$\begin{aligned}
 f &= F_t \cdot \mu \\
 &= 84,33 \cdot 0,11 \\
 &= 9,2763 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jika ketiga gaya gesek tersebut dijumlahkan, maka gaya tersebut disebut gaya gesek total kopling cakar dan besarnya adalah:

$$\begin{aligned}
 f_{tot} &= 0,119 + 15,9 + 9,2763 \\
 &= 25,3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dengan kata lain gaya gesek yang harus dilawan oleh motor tersebut masih jauh lebih kecil dari kemampuan motor sebenarnya.

4.15.2. Motor penggerak laluan silinder

Motor DC ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Arus : 3 Ampere

Tegangan : 12 volt

Putaran : 30 rpm

Dengan spesifikasi tersebut di atas, daya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot i \\
 &= 12 \cdot 3 \\
 &= 36 \text{ Watt} = 0,036 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= 9,74 \times 10^5 \frac{P}{n} \\
 &= 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,036}{30} \\
 &= 11,688 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Sedangkan beban yang harus dilawan torsi ini adalah torsi yang akan ditransmisikan ditambah momen karena gaya berat plat stip yang mempunyai dimensi sebagai berikut

Tebal = 4 mm

Panjang = 500 mm

Lebar = 25 mm

Dengan spesifikasi tersebut, dapat dihitung besarnya massa laluan silinder tersebut, yaitu:

$$\begin{aligned} m_{LS} &= \rho \cdot v \\ &= 7,833 \times 10^3 \times 0,025 \times 0,5 \times 0,004 \\ &= 0,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Massa ini bekerja pada jarak 10 mm dari motor DC, sehingga torsi yang akan dilawan motor ini adalah sebesar

$$\begin{aligned} T &= m_{LS} \cdot r \\ &= 0,4 \times 0,01 \\ &= 0,004 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Komponen momen kedua adalah momen yang ditimbulkan oleh mekanisme utama, yaitu sebesar 0,659 kg.m. Gaya ini bekerja jari-jari terluar penutup silinder, sehingga gaya tangensial yang ditimbulkannya adalah sebesar:

$$\begin{aligned} F_T &= \frac{T}{r} \\ &= \frac{0,659}{0,164} \\ &= 4,02 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya ini akan bekerja pada jarak 23 mm dari sumbu motor DC, sehingga akan menimbulkan torsi sebesar:

$$\begin{aligned} T &= F_T \cdot r \\ &= 4,02 \times 0,023 \\ &= 0,093 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya momen total yang harus dilawan adalah jumlah dari kedua torsi di atas, yaitu:

$$\begin{aligned} T_{total} &= 0,004 + 0,093 \\ &= 0,097 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Ini berarti motor akan mampu menahan laluan silinder sehingga silinder dapat bergerak translasi.

4.15.3. Motor penggerak kran gas

Motor DC ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

Arus : 0,3 Ampere

Tegangan : 12 volt

Putaran : 30 rpm

Dengan spesifikasi tersebut di atas, daya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= V \cdot i \\ &= 12 \cdot 0,3 \\ &= 3,6 \text{ Watt} = 0,0036 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= 9,74 \times 10^5 \frac{P}{n} \\ &= 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,0036}{30} \\ &= 1,1688 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Gaya yang harus dilawan adalah gaya gesek antara *ball valve* dengan karet sil yang meliputi sekelilingnya. Dimensi bola pada *valve* tersebut adalah sebagai berikut:

Diameter bola = 12 mm

Diameter lubang = 8 mm

Lebar karet sil = 2 mm

Koefisien gesek antara karet dan logam diambil sebesar 0,35

Sebenarnya gaya yang diperlukan untuk memutar kran tersebut harus didapatkan dari hasil percobaan karena tidak ada spesifikasi mengenai hal itu (kran buatan pabrik).

Dari hasil percobaan, diketahui bahwa kran mulai bergerak saat tuas kran dibebani berat 0,5 kg pada jarak 13 mm, ini berarti bahwa momen yang diperlukan untuk memutar kran tersebut adalah:

$$\begin{aligned} T &= F_T \cdot r \\ &= 0,5 \times 0,013 \\ &= 6,5 \times 10^{-3} \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Tampak di sini bahwa motor mampu menggerakkan kran tersebut.