

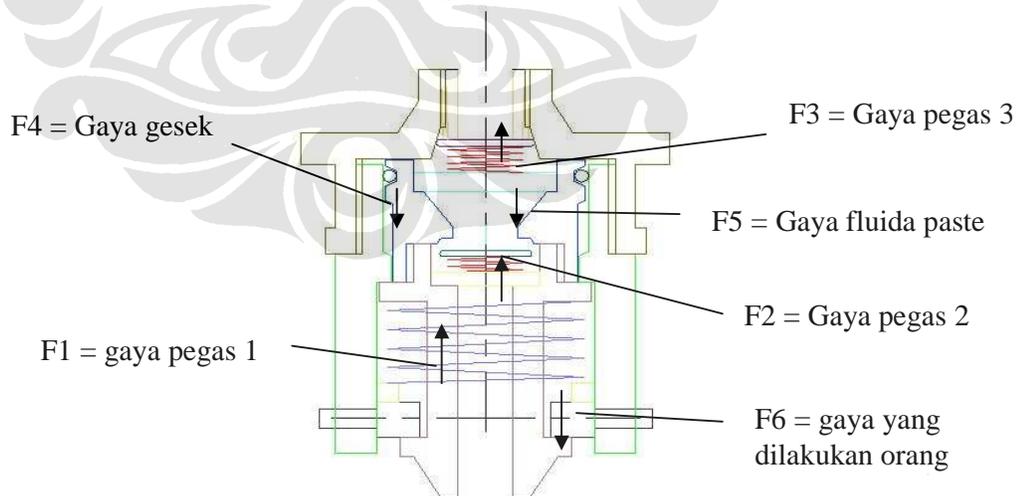
BAB IV

PERHITUNGAN

IV.1 Gaya–Gaya Yang Terjadi Pada *Pump Toothpaste Dispenser*

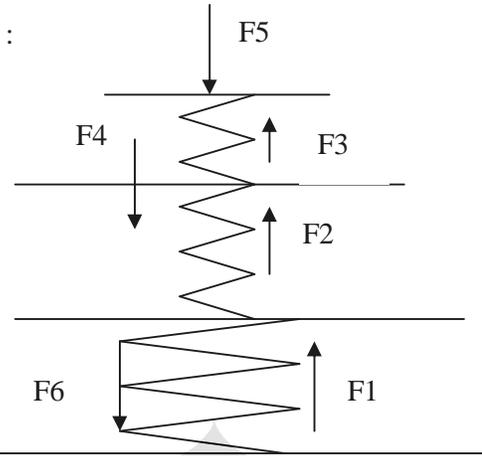
Dalam pemakaian *pump toothpaste dispenser* terdapat gaya-gaya terjadi yang memungkinkan mekanisme dari *pump toothpaste dispenser* mampu bekerja dengan baik. gaya-gaya yang terdapat pada toothpaste dispenser tersebut akan sangat mempengaruhi seberapa besar tenaga yang akan digunakan untuk mengeluarkan fluida pasta gigi dari tempatnya. Gaya yang dibutuhkan untuk menggunakan toothpaste dispenser ini perlu diminimalisir, hal ini disebabkan agar toothpaste dispenser ini dapat digunakan oleh semua kalangan baik anak-anak maupun orang dewasa. Adapun gaya-gaya yang bekerja adalah :

IV.1.1 Saat Kondisi Digunakan



Gambar IV.1: gaya-gaya pada pompa toothpaste dispenser saat digunakan

Free body diagram :



Gambar IV.2 : Free body diagram pompa toothpaste dispenser

Dari free body diagram diatas ada syarat-syarat yang harus dipenuhi :

$$F6 > F1 + F2 + F3$$

$$F1 + F2 + F3 > F4 + F5$$

IV.1.2 Menghitung Nilai F1 (Gaya Pegas Besar)

Sebelum menghitung nilai F1 terlebih dahulu kita mencari nilai konstanta pegas dari pegas tersebut dengan menggunakan persamaan [2]:

$$K : \frac{G d^4}{8 n D^3} \quad (IV.1)$$

Dimana :

K : konstanta pegas

G : modulus of elasticity in shear (MPa, psi)

d : diameter kawat pegas (mm)

D: diameter pegas (mm)

N : jumlah kumparan

Jadi :

G : 11×10^6 psi, material Stainles Steel Martensite AISI 4120,420 [2].

d : 1,4 mm

D: 30 mm

n : 5

$$K : \frac{G d^4}{8 n D^3}$$

$$K : \frac{11.10^6 \cdot 2.0^4}{8.5.30^3} = \frac{429.687.500}{1.080.000} = 162,96$$

Pegas digunakan untuk melakukan perpindahan sejauh x yaitu 24 mm atau 0,024 m. dari data data diatas dapat diketahui gaya yang diberikan oleh pegas :

$$F = K \cdot \Delta x \quad (IV.2)$$

$$F = 162,96 \cdot 0,024$$

$$F = 3,91 \text{ N}$$

IV.1.3 Menghitung Nilai F2 (Gaya Pegas 2)

Menentukan konstanta pegas :

Diketahui :

G : 11.5×10^6 psi, *material High carbon Steel Music wire ASTM A228[1]*

d : 0.6 mm

D: 10 mm

N : 12

$$K : \frac{G d^4}{8 n D^3}$$

$$K : \frac{11.5.10^6 \cdot 0.6^4}{8.12.10^3} = \frac{1.490.400}{96000} = 15.525$$

Pegas digunakan untuk melakukan perpindahan sejauh x yaitu 8 mm atau 0,008 m. dari data data diatas dapat diketahui gaya yang diberikan oleh pegas :

$$F = K \cdot \Delta x$$

$$F = 15.525 \cdot 0,008$$

$$F = 0,12 \text{ N}$$

IV.1.4 Menghitung Nilai F3 (Gaya Pegas 3, Kerucut)

Karena bentuk dari pegas 3 berbentuk kerucut maka digunakan rumus [2] :

$$K = \frac{G d^4}{2 n DC} \quad (IV.3)$$

dimana :

K : konstanta pegas

G : modulus of elasticity in shear (MPa, psi)

d : diameter kawat pegas (mm)

DC: diameter rata rata (mm)

$$DC = (D_{\max}^2 + D_{\min}^2) \cdot (D_{\max} + D_{\min}) \quad (IV.4)$$

D_{\max} = diamater terbesar dari pegas (mm)

D_{\min} = diamater terkecil dari pegas (mm)

n : jumlah kumparan

Diketahui :

G : 11.5×10^6 psi, *material High carbon Steel Music wire ASTM A228 [1]*

d : 0.6 mm

D_{\max} = 10 mm

D_{\min} = 5 (mm)

DC: diameter rata rata (mm)

n : 7

$$DC = (D_{\max}^2 + D_{\min}^2) \cdot (D_{\max} + D_{\min})$$

$$DC = (10^2 + 5^2) \cdot (10 + 5)$$

$$DC = (125) \cdot (15)$$

$$DC = 1875$$

$$K : \frac{G d^4}{2 n DC}$$

$$K : \frac{11.5 \cdot 10^6 \cdot 0.6^4}{2 \cdot 7 \cdot 1875} = \frac{1.490.400}{105000} = 14,19$$

Pegas digunakan untuk melakukan perpindahan sejauh x yaitu 8 mm atau 0,008 m. dari data data diatas dapat diketahui gaya yang diberikan oleh pegas :

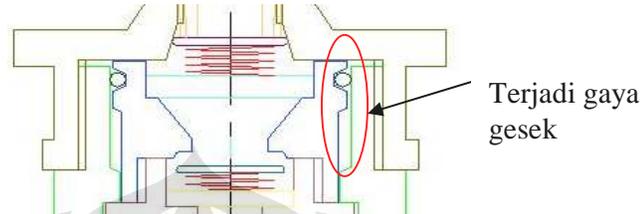
$$F = K \cdot \Delta x$$

$$F = 14,19 \cdot 0,008$$

$$F = 0,11 \text{ N}$$

IV.1.5 Menghitung Nilai F4 (Gaya Gesek)

Gaya gesek terjadi sesama bahan *Polyurethane* yang digunakan didalam *toothpaste dispenser*



Gambar IV.3 : gaya gesek pada toothpaste dispenser

$$F = \mu \times W$$

(IV.5)

Dimana : F : Friction force

$$\mu : 0.12 [6]$$

W : 4.14 N (gaya yang dilakukan oleh pegas)

Jadi

$$F = \mu \times W$$

$$F = 0.12 \cdot 4.14 \text{ N}$$

$$F = 0.4968 \text{ N}$$

IV.1.6 Menghitung Nilai F5 (Gaya Dari Fluida Pasta Gigi)

Gaya yang diberikan oleh fluida pasta gigi diasumsikan sebagai berat pasta gigi pada volume yang berkurang :

$$w = m \cdot g$$

$$w = \rho \cdot v \cdot g$$

(IV.6)

Dimana :

$$\rho \text{ (massa jenis pasta gigi)} = 1400 \text{ kg/m}^3$$

$$v \text{ (volume)} = 4675 \text{ mm}^3 = 4674 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$$

$$G \text{ (gravitasi)} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Jadi gaya yang diberikan oleh fluida pasta gigi :

$$w = m \cdot g$$

$$w = \rho \cdot v \cdot g$$

$$w = 1400 \cdot 4674 \cdot 10^{-9} \cdot 9.8$$

$$w = 0.06 \text{ N}$$

IV.1.7 Menghitung Nilai F6 (Gaya Yang Dilakukan Orang)

Gaya yang dilakukan si pengguna minimal harus lebih besar dari gaya-gaya pegas yang tedapat dalam *Toothpaste Dispenser*.

$$F6 > F1 + F2 + F3$$

$$\text{Jadi gaya } F6 > F1 + F2 + F3$$

$$F6 > F1 + F2 + F3$$

$$F6 > 3,91\text{N} + 0.11\text{N} + 0.12\text{N}$$

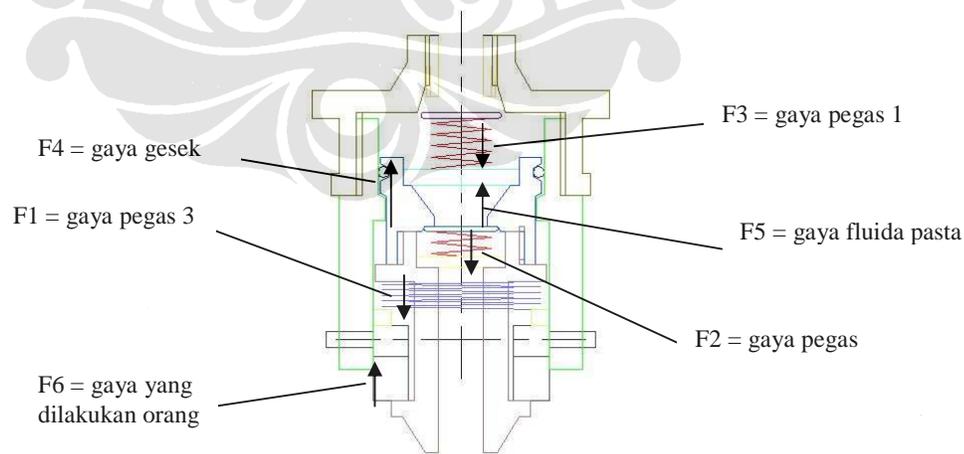
$$F6 > 4.14 \text{ N}$$

Jadi kerja yang dilakukan orang untuk membuka pasta gigi harus lebih besar dari 4,14N

Dari gaya gaya yang didapat maka kedua syarat dari *freebody* diagram terpenuhi :

- $F6 > F1 + F2 + F3$
 $F6 > 3,91\text{N} + 0.11\text{N} + 0.12\text{N}$
 $F6 > 4.14 \text{ N}$
- $F1 + F2 + F3 > F4 + F5$
 $3,91\text{N} + 0.11\text{N} + 0.12\text{N} > 0.4968 \text{ N} + 0.06 \text{ N}$
 $4.14 \text{ N} > 0.5568 \text{ N}$

IV.1.8 Saat Kondisi Dikembalikan Seperti Awal



Gambar IV.4 : gaya-gaya pada pompa toothpaste dispenser saat dikembalikan pada kondisi awal

Pada saat kondisi *toothpaste dispenser* dikembalikan seperti kondisi awal perlu dicari gaya yang diperlukan oleh pengguna (F_6).

$$F_6 \geq F_1 + F_2 + F_3$$

Jadi gaya $F_6 \geq F_1 + F_2 + F_3$

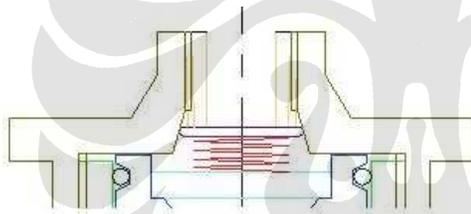
$$F_6 \geq F_1 + F_2 + F_3$$

$$F_6 \geq 3,91\text{N} + 0,11\text{N} + 0,12\text{N}$$

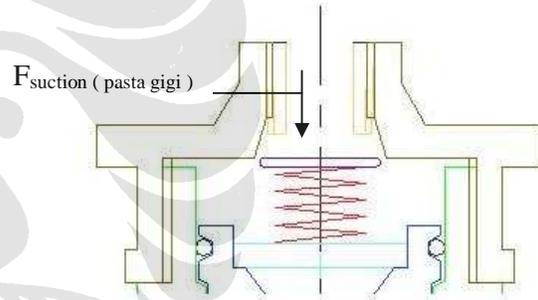
$$F_6 \geq 4,14\text{ N}$$

Pada saat kondisi *toothpaste dispenser* dikembalikan seperti kondisi semula, terjadi gaya hisap yang disebabkan karena beda tekanan. Tekanan akan berpindah dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah. Gaya hisap ini berfungsi untuk menghisap pasta gigi dari tempatnya.

Saat katup tertutup



Saat katup terbuka (gaya hisap)



Gambar IV.5: gaya hisap pada pompa *toothpaste dispenser*

Gaya hisap : $F = P \times A$

$$F = \rho g h \times A \tag{IV.7}$$

Dimana :

ρ : massa jenis pasta gigi

g : gaya gravitasi

$h \times A$: Volume yang terjadi saat katup dibuka

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = P \cdot A \tag{IV.8}$$

$$F = \rho \cdot g \cdot h \cdot A$$

$$F = \rho \cdot g \cdot V_{(pegasturun)}$$

$$F = 1400 \cdot 9,8 \cdot 1607,69 \cdot 10^{-9}$$

$$F = 0,02\text{ N}$$

Jadi gaya hisap yang terjadi sebesar 0.02 N

Tekanan yang terdapat pada saat gaya hisap terjadi :

$$P = \frac{F}{A}$$
$$P = \frac{0.02 \text{ N}}{200.96 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 99 \text{ Kpa}$$

IV.1.9 Perancangan Poros Pada Pompa *Toothpaste Dispenser*

Perancangan poros ini dilakukan dengan menentukan material poros terlebih dahulu kemudian menentukan diameter terkecil dari poros agar mampu menahan beban yang akan diberikan.

Panjang poros : 12 mm

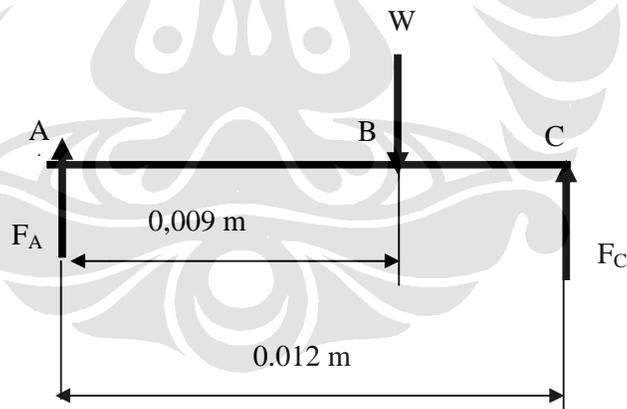
Gaya yang menekan poros merupakan gaya dari pegas dan berat pompa:

$$\text{Gaya pegas} = 4.14 \text{ N}$$

$$\text{Berat pompa} = 0.3 \text{ Kg} \cdot 9.8 = 2.94 \text{ N}$$

Jadi total gaya yang diberikan pada poros = 7.08 N

Menghitung momen maksimum :



Gambar IV.6: free body diagram poros pompa toothpaste dispenser

$$\Sigma F_y = 0$$

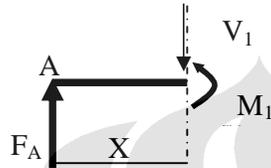
$$W - F_A - F_C = 0$$

$$F_A + F_C = 7.08 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_A &= 0 \\ 0.009 W - 0.012 F_C &= 0 \\ F_C &= 5.31 N \\ F_A &= 1.77 N\end{aligned}$$

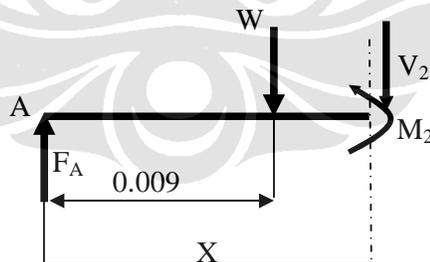
Mencari momen maksimum :

1. Segmen AB ($0 < X < 0.009$)



$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ V_1 &= 1.77 N \\ \Sigma M &= 0 \\ F_A \cdot X - M_1 &= 0 \\ M_1 &= 1.77x \\ - X=0, M_1 &= 0 \\ - X=0.009, M_1 &= 0.007 \cdot 1.77 = 0.012 N\end{aligned}$$

2. Segmen BC ($0.009 < X < 0.012$)



$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ V_2 &= F_A - W \\ V_2 &= 1.77 - 7.08 \\ V_2 &= -5.31 N\end{aligned}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M_2 = F_A(X) - W(X - 0.009)$$

$$M_2 = 1.77X - 7.08(X - 0.009)$$

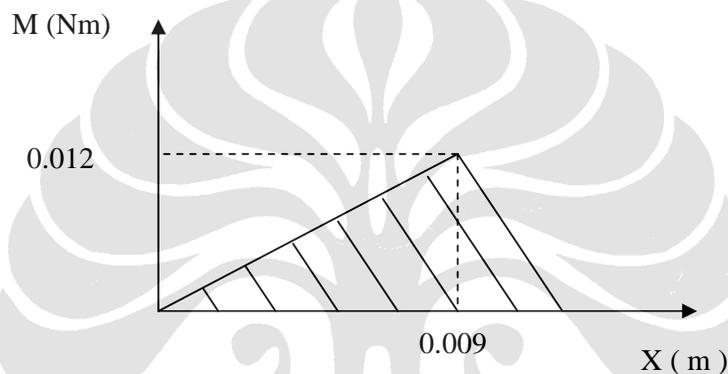
$$M_2 = 1.77X - 7.08X + 0.06$$

$$M_2 = -5.31X + 0.06$$

$$- X=0.009, M_2 = 0.012 \text{ N}$$

$$- X=0.012, M_2 = 0$$

Moment Diagram



Gambar IV.7 : momen diagram poros pompa toothpaste dispenser

Dari *free body* diagram diketahui bahwa panjang poros : 12 mm

Dan momen maksimum : 0.012 Nm

Torsi = 0, karena poros tidak berputar

Pemilihan bahan poros yang digunakan adalah *Medium-carbon steel* (AISI 1020).

Material ini ini dipilih karena memiliki sifat kekuatan, kekerasan, dan sifat mampu pakai yang tinggi dan juga disegani biaya material ini masih mungkin dijangkau Berikut

adalah *material properties* dari AISI 1020 [1] :

Kerapatan (density)	:	7860 kg/m ³
Modulus elastis	:	207 GPa
Yield strength	:	295 Mpa
Ultimate tensile strength	:	395 Mpa
Konduktivitas termal	:	52 W/m°C

Dalam proses penghitungan *Safety Factor* ini, kami menggunakan cara *Puglsey Safety Factor* [1].

Penjelasan :

Table IV.1 Safety Factor Characteristics A, B, and C [1]

Characteristic		B			
		vg	g	f	p
A = vg	vg	1.1	1.3	1.5	1.7
	g	1.2	1.45	1.7	1.95
	f	1.3	1.6	1.9	2.2
	p	1.4	1.75	2.1	2.45
A = g	vg	1.3	1.55	1.8	2.05
	g	1.45	1.75	2.05	2.35
	f	1.6	1.95	2.3	2.65
	p	1.75	2.15	2.95	2.95
A = f	vg	1.5	1.8	2.1	2.4
	g	1.7	2.05	2.4	2.75
	f	1.9	2.3	2.7	3.1
	p	2.1	2.55	3	3.45
A = p	vg	1.7	2.15	2.4	2.75
	g	1.95	2.35	2.75	3.15
	f	2.2	2.65	3.1	3.55
	p	2.45	2.95	3.45	3.95

Dimana:

- A = kualitas material, pemeliharaan dan inspeksi
- B = pengontrol beban berlebih pada komponen
- C = menganalisa keakuratan tegangan

Table IV.2 Safety Factor Characteristics D and E

Characteristic	E		
	ns	s	vs
D= $\begin{cases} ns \\ s \\ vs \end{cases}$	1.0	1.2	1.4
	1.0	1.3	1.5
	1.2	1.4	1.6

vs = *very serious*, s = *serious*, and ns = *not serious*

D = bahaya pada manusia

E = dampak ekonomi

Adapun proses penghitungan nilai safety factor itu sendiri, dengan cara sebagai berikut :

$$n_s = n_{sx}n_{sy}$$

Kesimpulan :

- Nilai A : dipilih g, karena poros merupakan hal yang sangat vital
- Nilai B : dipilih f, karena dalam hal ini telah ditentukan beban maksimum yang diterima poros tidak terlalu besar.
- Nilai C : dipilih g, karena tegangan yang dihitung belum tentu sama pada kondisi real
- Nilai D : dipilih ns, pemilihan ini didasarkan karena pada pemakaiannya tidak terlalu berbahaya bagi manusia
- Nilai E : dipilih vs, karena dalam perancangan ini kami menginginkan harga yang terjangkau bagi masyarakat.

Sehingga didapatkan nilai *safety factor* = (2.05)(1.4) = 2,87

Perhitungan dengan rumus DET (*distorsion energy theory*) [1], diameter poros terkecil adalah:

$$\begin{aligned}
 d &= \left(\frac{32n_s}{\pi S_y} \sqrt{M^2 + \frac{3}{4}T^2} \right)^{1/3} \quad (\text{Hamrock,429}) \quad (\text{IV.9}) \\
 &= \left(\frac{32 \times 2,175}{\pi \times 295 \cdot 10^6} \sqrt{0.012^2 + 0} \right)^{1/3} \\
 &= 7.5 \cdot 10^{-8} (0.05) \\
 &= 0.39 \cdot 10^{-8} \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka di dapat diameter terkecil dari poros adalah $0.39 \cdot 10^{-8}$ mm, tetapi dalam perancangan toothpaste dispenser dirancang poros dengan diameter 3 mm. Jadi poros yang digunakan masih aman terhadap gaya-gaya yang diberikan pada *tootpaste dispenser*. setelah menentukan diameter poros, maka langkah selanjutnya memprediksikan kegagalan yang akan terjadi menggunakan metode *DET* atau *Von misses* dikarenakan material poros adalah material *ductile*.

Menghitung nilai *Von Misses* [1]:

1. Mencari *momen inersia* dari benda. Persamaan yang digunakan dalam mencari *momen inersia* bergantung dari bentuk bendanya.

$$\text{Mencari nilai I : } I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3.14 \cdot (0.003)^4}{64} = 3.97 \cdot 10^{-12} \quad (\text{IV.10})$$

2. Mencari *shear stress* dari *torsi* : $\tau = \frac{T c}{J}$ (IV.11)

dalam hal ini torsi adalah 0, sehingga shear stress tidak ada

3. Mencari *Tensile stress* dari *bending* : $\sigma = \frac{M c}{I}$ (IV.12)

$$\sigma = \frac{M c}{I} = \frac{0.012 \cdot (1.5) \cdot (10^{-3})}{3.97 \cdot 10^{-12}} = 4.53 \text{ Mpa}$$

4. Mencari *principal normal stress* :

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\tau_{xy}^2 + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2} \quad (\text{IV.13})$$

5. *Von misses stress* : $\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2)^{0.5}$ (IV.14)

Maka $\sigma_1 = 0$ $\sigma_2 = 4.53$

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \\ &= \sqrt{0 + 4.53^2 + 0} \\ &= 4.53 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6. Prediksi kegagalan pada *DET* terjadi jika : $\sigma_e \geq \frac{S_y}{n_s}$ (IV.15)

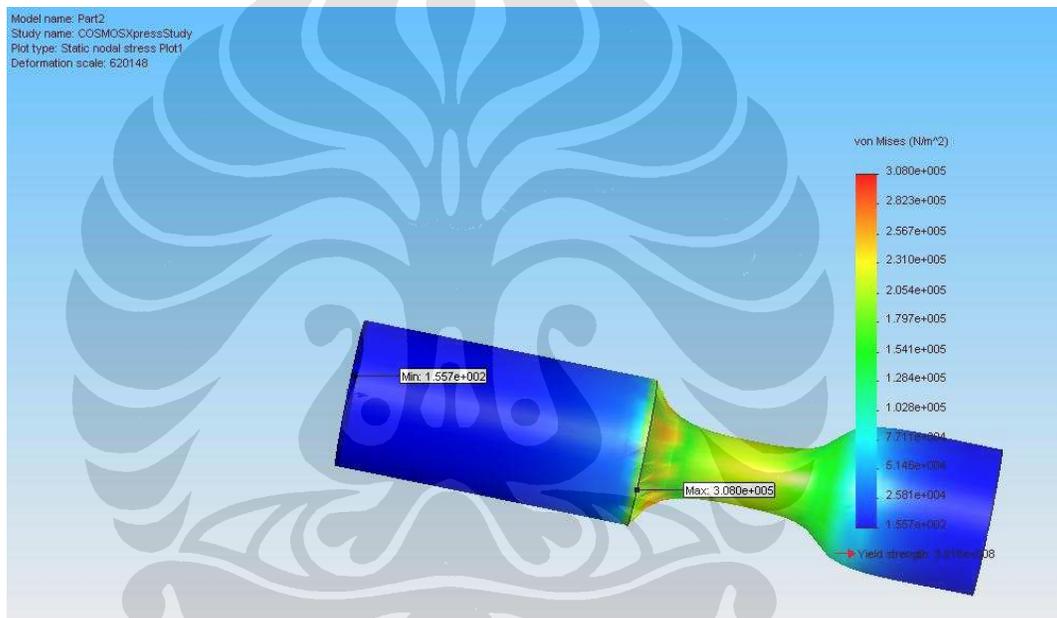
$$\sigma_e \leq \frac{S_y}{N_s}$$

$$4.53 \leq \frac{295}{2,87}$$

$$4.53 \leq 102.7$$

Simulasi beban pada poros dengan menggunakan *software Cosmos* :

Simulasi dilakukan dengan material poros berupa *Medium-carbon steel* (AISI 1020) dan gaya yang diberikan 7.08 N.

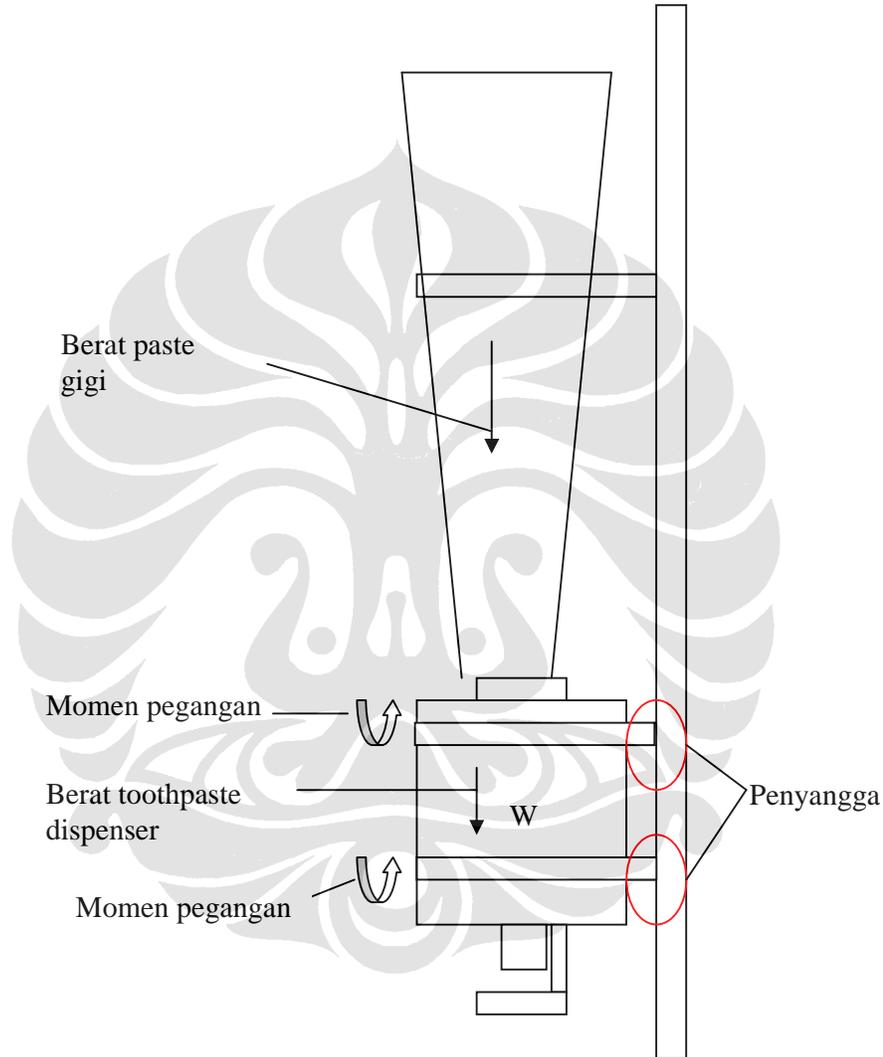


Gambar IV.8 : simulasi kekuatan poros pompa toothpaste dispenser dengan *software cosmos*

Dari gambar data diatas dapat diketahui *von misses* poros poros $3.08 \cdot 10^5$ Nm^2 . atau sama dengan 0.3 Mpa, hasil ini berbeda dengan hasil dari perhitungan manual yang menunjukkan nilai *von misses* : 4.53 Mpa. Dari kedua hasil perhitungan *von misses* menunjukkan bahwa material poros yang dipilih masih mampu menahan beban yang dikerjakan pada poros.

IV.1.10 Perancangan Penyangga Pada Pompa *Toothpaste Dispenser*

Dalam perancangan penyangga pompa *toothpaste dispenser*, terlebih dahulu ditentukan material yang akan digunakan. Material yang akan digunakan adalah *polyurethane*. Pemilihan *polyurethane* didasarkan karena beban yang akan diterima oleh penyangga tidak terlalu besar dan menambah nilai estetika dari produk.



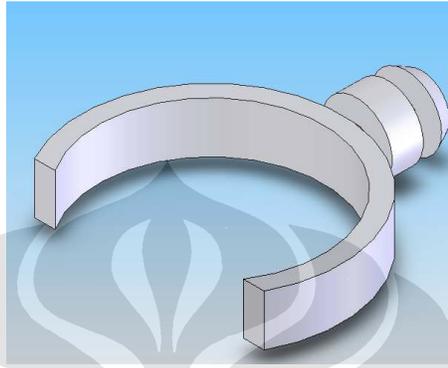
Gambar IV.9 : gaya gaya pada penyangga pompa *toothpaste dispenser*

Dari gambar di atas terdapat dua buah penyangga pompa *toothpaste dispenser*. Tetapi dalam perhitungan, diasumsikan satu penyangga menerima seluruh beban dari berat pompa dan pasta gigi.

Diketahui :

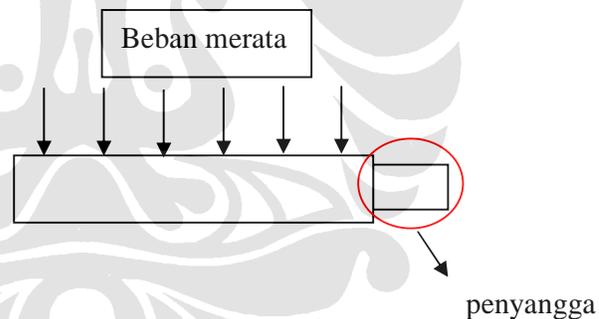
- massa pasta gigi dan tempat pasta gigi 200 gram (asumsi menggunakan pasta gigi 190 gram)
- massa pompa toothpaste dispenser 100 gram.

Di bawah ini merupakan bentuk desain dari panyangga pompa toothpaste dispenser :



Gambar IV.10 : panyangga pompa toothpaste dispenser

dari desain tersebut maka dilakukan perhitungan yang sama seperti perhitungan pada *cantilever* dimana hanya ada satu penyangga pada satu sisinya.



Gambar IV.11: distribusi beban pada penyangga pompa toothpaste dispenser (tampak samping)

Karena pada penyangga terdapat 2 buah batang maka distribusi beban dibagi 2, jadi pada setiap batang hanya menerima massa :

- massa pasta gigi dan tempat pasta gigi 100 gram
- massa pompa *toothpaste dispenser* 50 gram

Panjang penyangga : 38 mm (asumsi batang lurus).

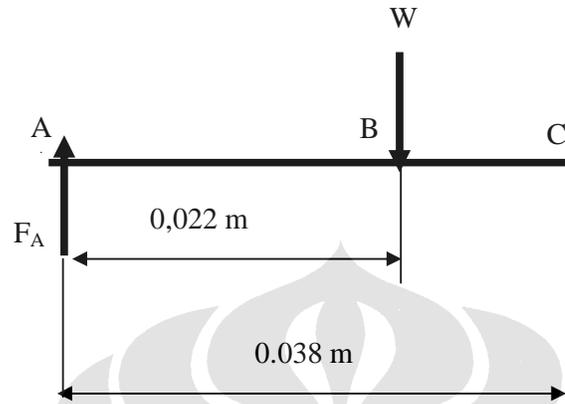
Gaya yang menekan batang penyangga :

$$\text{Berat pasta gigi} = 0.2 \text{ Kg} \cdot 9.8 = 1.96 \text{ N}$$

$$\text{Berat pompa} = 0.1 \text{ Kg} \cdot 9.8 = 0.98 \text{ N}$$

Dalam perhitungannya diambil asumsi yakni center mass dari pasta gigi dan pompa tepat berada ditengah pompa atau 22 mm dari sisi penyangga :

Menghitung momen maksimum :



Gambar IV.12 :FBD momen penyangga pompa toothpaste dispenser

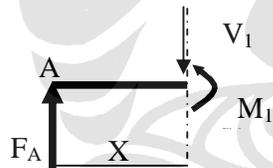
$$\Sigma F_y = 0$$

$$W - F_A = 0$$

$$F_A = 2.94N$$

Mencari momen tiap segmen :

Segmen AB ($0 < X < 0.022$)



$$\Sigma F_y = 0$$

$$V_1 = 2.94N$$

$$\Sigma M = 0$$

$$F_A \cdot X - M_1 = 0$$

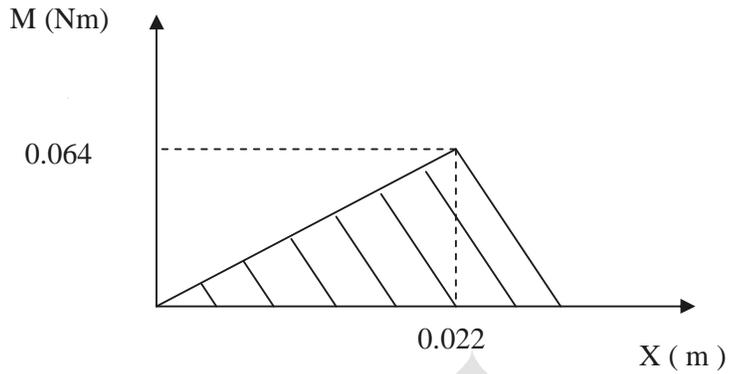
$$M_1 = 2.94x$$

$$- X=0, M_1 = 0$$

$$- X=0.022 \Rightarrow M_1 = 0.022 \cdot 2.94 = 0.064N$$

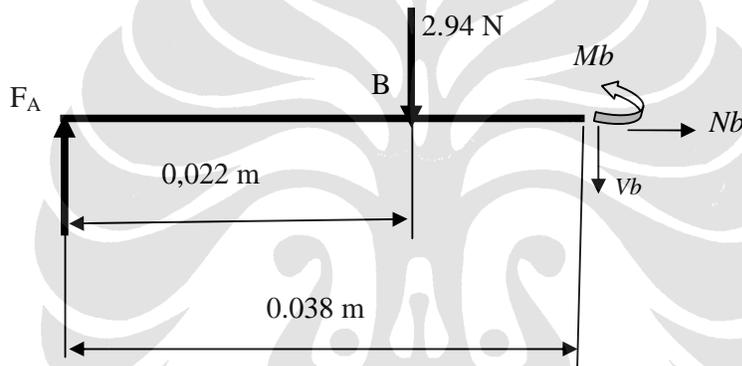
Karena berbentuk cantilever dan hanya ada satu gaya yang bekerja maka momen maksimum terjadi pada $X = 0.022$ mm.

Moment Diagram



Gambar IV.13 : momen diagram penyangga pompa toothpaste dispenser

Menghitung Shear Force :



$$\sum F_x = 0, \quad N_b = 0$$

$$\sum M_b = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_A = w + V_b$$

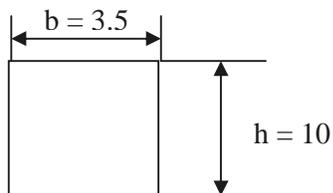
$$F_A \cdot 0 = 2.94 \cdot 0.022 + V_b \cdot 0.038$$

$$0 = 0.064 + V_b \cdot 0.038$$

$$-0.064 = V_b \cdot 0.038$$

$$V_b = -1.7 \text{ N, arah terbalik (Shear Force)}$$

Mencari momen inersia dari batang penyangga dengan menggunakan persamaan (IV.14):



$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{3.5mm \cdot 10^3 mm}{12} = 291.66 mm^4$$

Mencari Q (*First moment inersia about neutral axis*)

$$Q = \int ydA$$

$$Q = \int_0^5 10y dy \tag{IV.16}$$

$$Q = \frac{10y^2}{2} = \frac{10 \cdot 5^2}{2} = 125 mm^3$$

Mencari *Shear stress*

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot wt} = \frac{1.7 \cdot 125}{291.66 \cdot 3.5} \tag{IV.17}$$

$$\tau = 0.2 N / mm^2$$

$$\tau = 0.2 MPa$$

Dalam perancangan batang penyangga telah dipilih material dari bahan *polyurethane* yang memiliki nilai *yield strength* (S_y) adalah 55 Mpa.[1]. Untuk mengetahui kekuataanya maka harus menentukan safety faktor terlebih dahulu, nilai *safety factor* dapat dikehahui dengan malihat tabel *safety factor* (Table IV.1 dan Tabel IV.2). Dari tabel tersebut didapat kesimpulan :

Kesimpulan :

- Nilai A : dipilih nilai g, karena dalam hal ini dinginkan material yang mampu menahan beban yang diberikan sehingga dalam pemakaian tidak akan terjadi failure.
- Nilai B : dipilih g, karena dalam hal ini beban yang diberikan tidak terlalu besar.
- Nilai C : dipilih g, karena tegangan yang dihitung belum tentu sama pada kondisi real
- Nilai D : dipilih s, pemilihan ini didasarkan karena pada pemakaiannya tidak terlalu berbahaya bagi manusia
- Nilai E : dipilih vs, karena dalam perncangan ini kami menginkan harga yang terjangkau bagi masyarakat.

Sehingga didapatkan nilai *safety factor* = (1.75)(1.5) = 2,625

$$2\tau_{\max} < \frac{S_y}{N_s}$$

$$2 \cdot 0.2 < \frac{55}{2.626}$$

$$0.4 \text{ MPa} < 20.95 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan diatas maka *polyurethane* masih cukup kuat untuk digunakan sebagai material penyangga pompa *toothpaste dispenser*. Setelah menentukan diameter dan material, maka langkah selanjutnya adalah menguji kegagalan atau failure dari material. Karena material yang digunakan bersifat ductile maka menggunakan DET (*distorsion energy theory*).

Menghitung nilai *Von Misses* [1]:

1. Mencari *momen inersia* dari benda. Persamaan yang digunakan dalam mencari *momen inersia* bergantung dari bentuk bendanya.

$$\text{Mencari nilai } I : I = \frac{bh^3}{12} = \frac{3.5\text{mm} \cdot 10^3 \text{mm}}{12} = 291.66 \text{mm}^4$$

2. Mencari *shear stress* dari *torsi* : $\tau = \frac{T c}{J}$

$\tau = 0.2 \text{ Mpa}$, dari perhitungan sebelumnya.

3. Mencari *Tensile stress* dari *bending* :

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$= \frac{0.064 \cdot (0.0015)}{291.66 \cdot 10^{-12}} = 3.29 \text{ Mpa}$$

4. Mencari *principal normal stress* :

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\tau_{xy}^2 + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2}$$

$$= \frac{3.29}{2} \pm \sqrt{0.2^2 + \left(\frac{3.29}{2}\right)^2} = 1.645 \pm 1.65$$

5. *Von misses stress* : $\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2)^{0.5}$

Maka $\sigma_1 = 0.005$ $\sigma_2 = 3.295$

$$\begin{aligned}\sigma_e &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2} \\ &= \sqrt{2.5 \cdot 10^{-5} + 3.3 + 0.016} \\ &= 1.82 \text{ MPa}\end{aligned}$$

6. Prediksi kegagalan pada *DET* terjadi jika : $\sigma_e \geq \frac{S_y}{n_s}$

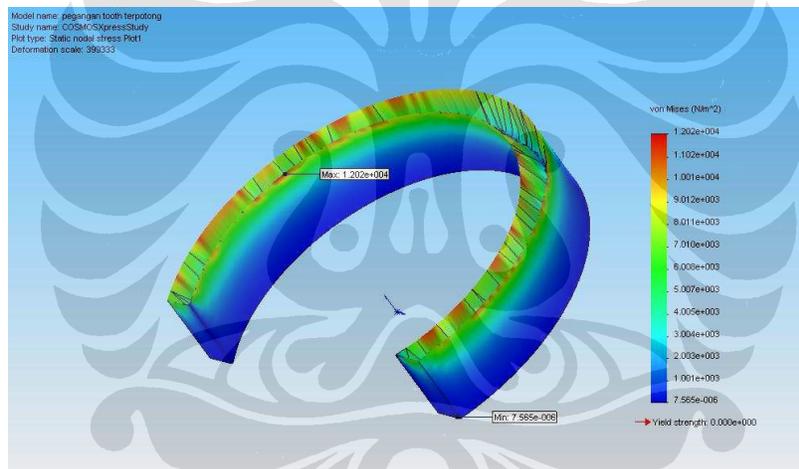
$$\sigma_e \leq \frac{S_y}{N_s}$$

$$1.82 \leq \frac{55}{2,625} \quad (\text{IV.18})$$

$$1.82 \leq 20.95$$

Simulasi beban pada poros dengan menggunakan *software Cosmos* :

Simulasi dilakukan dengan material poros berupa *polyurethane* dan gaya yang diberikan 2.94 N.



Gambar IV.14 : hasil simulasi penyangga pompa toothpaste dispenser dengan *software cosmos*

Dari gambar data diatas dapat diketahui *von misses* poros poros $1.2 \cdot 10^4 \text{ Nm}^2$. atau sama dengan 0.012 Mpa, hasil ini berbeda dengan hasil dari perhitungan manual yang menunjukkan nilai *von misses* : 1.82 Mpa. Hal ini disebabkan karena pada *software cosmos* tidak terdefinisi *yield strength* dari material *polyurethane*. Namun dari kedua hasil tersebut menunjukkan bahwa batang penyangga masih aman dignakan.

IV.2 Gaya–Gaya Yang Terjadi Pada Grip Toothpaste Dispenser

IV.2.1 Menghitung Jarak Yang Dibutuhkan Gripper Untuk Mengeluarkan Fluida Pasta Gigi.

Jarak yang dibutuhkan oleh gripper ini sangat berpengaruh pada banyaknya fluida yang akan dikeluarkan oleh pasta gigi. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan :

Mencari volume fluida pasta gigi yang diterima oleh sikat gigi :



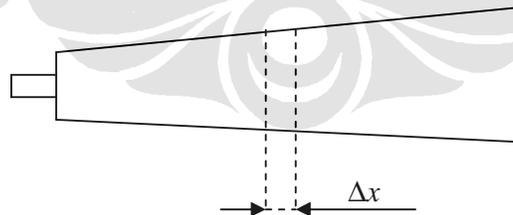
Gambar IV.15 : volume yang dibutuhkan

Diketahui : panjang : 30 mm

Diameter : 8 mm

$$\text{Volume yang dibutuhkan} : 3.14 \cdot 4^2 \cdot 30 = 1507 \text{ mm}^3$$

Mencari jarak yang dibutuhkan gripper :



Gambar IV.16 : Jarak perpindahan gripper yang dibutuhkan.

Diketahui : diameter : 35 mm (diameter rata-rata)

$$\text{Luas penampang} : 3.14 \cdot 17.5^2 = 961.625 \text{ mm}^2$$

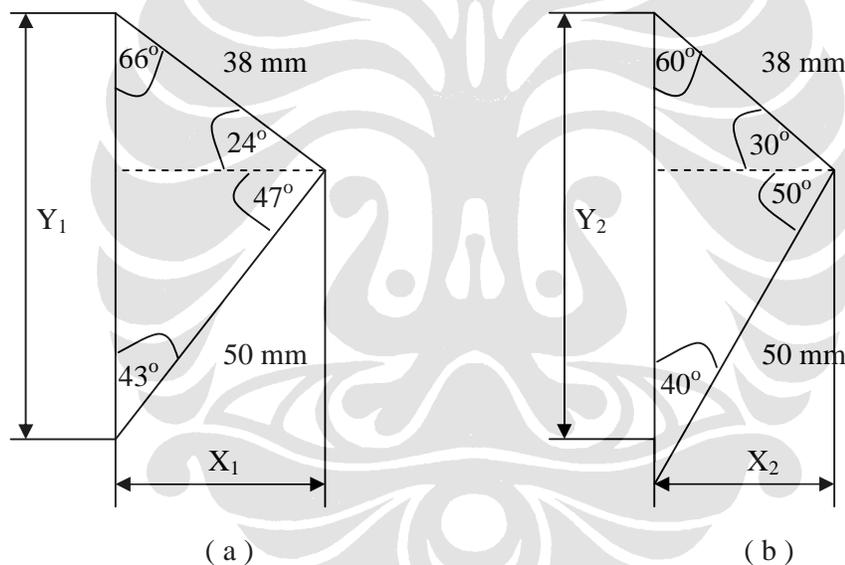
$$\text{Jadi } \Delta x \text{ yang dibutuhkan} : 1507 \text{ mm}^3 = 961.625 \text{ mm}^2 \cdot \Delta x$$

$$\Delta x = 1.6 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diatas makan gripper harus turun sejauh 1.6 mm, tetapi dalam perancangannya dibuat agar gripper turun sejauh 5 mm. Hal ini bertujuan untuk mengurangi *losses* yang disebabkan karena gaya gesek dengan permukaan tempat pasta gigi dan juga adanya udara yang ikut tertekan.

IV.2.2 Mencari Hubungan Sudut Dan Gerak Translasi Akibat Gaya Pegas.

Sudut-sudut yang berlaku pada mekanisme kerja *gripper* sudah ditentukan dalam proses desain. Penentuan sudut ini akan mempengaruhi mekanisme kerja dari pegas yang terdapat dalam *gripper*. Penentuan sudut ini akan menentukan nilai gaya yang diberikan pada sistem, karena penentuan sudut berpengaruh pada nilai Δx pegas.



Gambar IV.17 : sketsa penekanan gripper., (a) kondisi gripper belum ditekan, (b) kondisi gripper saat ditekan

Mencari nilai Y_1 dan Y_2

- $Y_1 : 38.\cos 66 + 50.\cos 43 : 52 \text{ mm}$
- $Y_2 : 38.\cos 60 + 50.\cos 40 : 57 \text{ mm}$

Jadi Δy yang terjadi 5 mm.

Mencari nilai X_1 dan X_2

- $X_1 : 38 \cdot \cos 24 : 34.7 \text{ mm}$
- $X_2 : 38 \cdot \cos 30 : 32.9 \text{ mm}$

Jadi Δx yang terjadi 1.8 mm.

Dari nilai Δx dan Δy maka dapat dicari gaya pegas yang akan digunakan dalam mekanisme gripper.

IV.2.3 Mencari Gaya-Gaya Pegas.

Dari perancangan yang dilakukan terdapat dua jenis pegas yang digunakan dalam mekanisme kerja gripper. Pegas yang pertama bekerja pada arah *horisontal*, sedangkan yang kedua bekerja searah *vertikal*.

- Mencari nilai konstanta pegas yang digunakan pada arah *horisontal* dengan menggunakan persamaan IV.1. :

$$K : \frac{G d^4}{8 n D^3}$$

Dimana :

K : konstanta pegas

G : *modulus of elasticity in shear* (MPa, psi)

d : diameter kawat pegas (mm)

D: diameter pegas (mm)

N : jumlah kumparan

Jadi :

G : 11×10^6 psi, *material Stainles Steel Martensite AISI 4120,420* [2].

d : 2 mm

D: 20 mm

n : 5

jadi :

$$K : \frac{G d^4}{8 n D^3}$$

$$K : \frac{11.5 \cdot 10^6 \cdot 2^4}{8 \cdot 5 \cdot 20^3} = \frac{184.000.000}{320.000} = 575$$

$$\Delta x = 1.8 \text{ mm}$$

Gaya pegas : $F = K \cdot \Delta x$
 $F = 575 \cdot 0.0018$
 $F = 1.035 \text{ N}$

- Mencari nilai konstanta pegas yang digunakan pada arah *vertikal* dengan menggunakan persamaan IV.1. :

$$K : \frac{G d^4}{8 n D^3}$$

Dimana :

K : konstanta pegas
 G : *modulus of elasticity in shear* (MPa, psi)
 d : diameter kawat pegas (mm)
 D: diameter pegas (mm)
 N : jumlah kumparan

Jadi :

G : 11×10^6 psi, *material Stainles Steel Martensite AISI 4120,420* [2].
 d : 1 mm
 D: 10 mm
 n : 8

jadi :

$$K : \frac{G d^4}{8 n D^3}$$

$$K : \frac{11.5 \cdot 10^6 \cdot 1^4}{8 \cdot 8 \cdot 10^3} = \frac{11500000}{64000} = 179$$

$\Delta y = 5 \text{ mm}$

Gaya pegas : $F = K \cdot \Delta y$
 $F = 179 \cdot 0.005$
 $F = 0.895 \text{ N}$

IV.2.4 Mencari Gaya Balik Dari Fluida Pasta Gigi

Gaya yang diberikan oleh fluida pasta gigi diasumsikan sebagai berat pasta gigi pada volume yang tertekan oleh *gripper* :

Keterangan :

F1 : gaya reaksi batang akibat gaya dari pegas *horisontal*

F2 : gaya reaksi batang akibat dari pegas *vertikal* dan gaya *fluida toothpaste*

F3 : gaya reaksi pegas *horisontal* (terdapat dua buah pegas)

F4 : gaya dari *fluida toothpaste*

F1' : proyeksi gaya F1

F2' : proyeksi gaya F2

Untuk dapat menekan *gripper* maka $F \text{ orang} > F1' + F2' + F3$

$$F1' = \cos 24 \cdot F1$$

$$F1' = \cos 24 \cdot \frac{F3}{\cos 24} = F3$$

F1' : F3, dimana F3 merupakan gaya reaksi pegas *horisontal* : 2.07 N

$$F2' : F2 \cdot \cos 47$$

$$F2' : \frac{F3 + F4}{\sin 47} \cdot \cos 47$$

$$F2' : \frac{0.895 + 0.066}{\sin 47} \cdot \cos 47$$

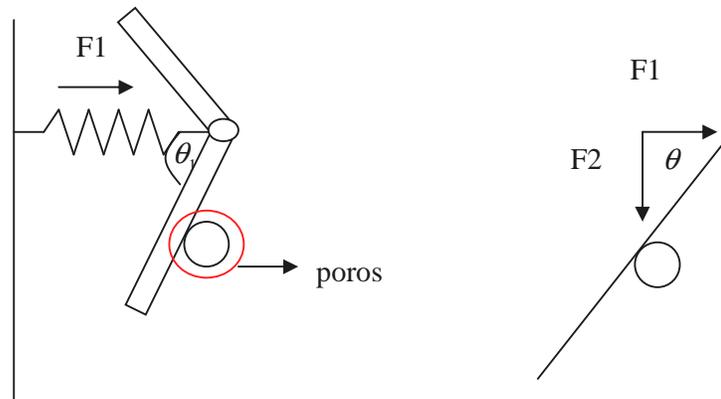
$$F2' : 0.89 \text{ N}$$

gaya yang digunakan untuk menekan *gripper* $> 2.07 + 2.07 + 0.89$

pada perhitungan diatas hanya dihitung pada satu sisi *gripper*, sehingga gaya yang harus dilakukan oleh pengguna, harus dikalikan dua kali sehingga Gaya orang $> 10.06 \text{ N}$.

IV.2.6 Perancangan Poros Pada *Gripper*

Perancangan poros ini dilakukan dengan menentukan diameter dari produk, lalu mencari material sesuai dengan perhitungan. Poros pada *gripper* berfungsi menahan tumpuan dari batang *gripper*. Batang *gripper* menerima gaya yang diberikan oleh dua buah pegas.

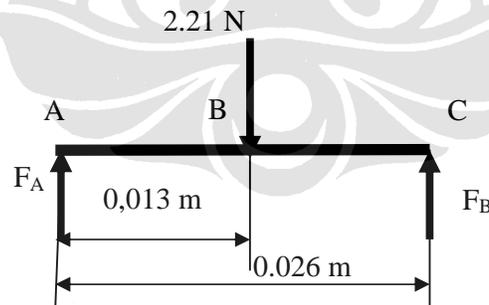


Gambar IV.19 : gaya pada poros gripper

Dari gambar terlihat jika poros menerima gaya pada sumbu xy dan xz. Untuk sumbu xy poros menerima gaya dari F2, sedangkan untuk sumbu xz poros menerima gaya dari F1, .Diketahui :

- Beban tertumpu pada poros bagian tengah
- Panjang poros 26 mm dan diameter 3 mm
- Sudut : $\theta : 47^\circ$
- F1 : merupakan gaya dari dua buah pegas, besarnya : $1.035 \times 2 : 2.07 \text{ N}$
- F2 : $F1 \times \text{tg } \theta$, jadi F2 : $2.07 \times \text{tg } 47^\circ : 2.21 \text{ N}$

Menghitung Momen Maksimum Pada Sumbu XY :



Gambar IV.20.: free body diagram poros Gripper pada sumbu XY

$$\Sigma F_y = 0$$

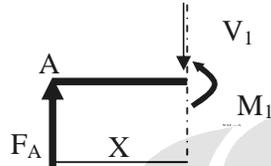
$$F_A + F_B = 2.21 \text{ N}$$

$$F_A + F_B = 2.21 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_A &= 0 \\ \Sigma M_A &= 0.013 \cdot 2.21 N - 0.026 \cdot F_B \\ \Sigma M_A &= 0.028 - 0.026 F_B \\ F_B &= 1.105 N \\ F_A &= 1.105 N\end{aligned}$$

Mencari momen pada tiap segmen :

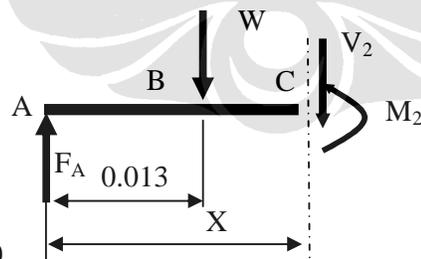
Segmen AB ($0 < X < 0.013$)



$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ V_1 &= 1.105 N\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M &= 0 \\ F_A \cdot X - M_1 &= 0 \\ M_1 &= 1.105 x \\ - X=0, M_1 &= 0 \\ - X=0.013, M_1 &= 1.105 \cdot 0.013 = 0.014 N\end{aligned}$$

Segmen BC ($0.013 < X < 0.026$)



$$\begin{aligned}\Sigma F_y &= 0 \\ V_2 &= F_A - 2.21 \\ V_2 &= 1.105 - 2.21 \\ V_2 &= -1.105 \text{ (arah terbalik)}\end{aligned}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M_2 = F_A(X) - 2.21(X - 0.013)$$

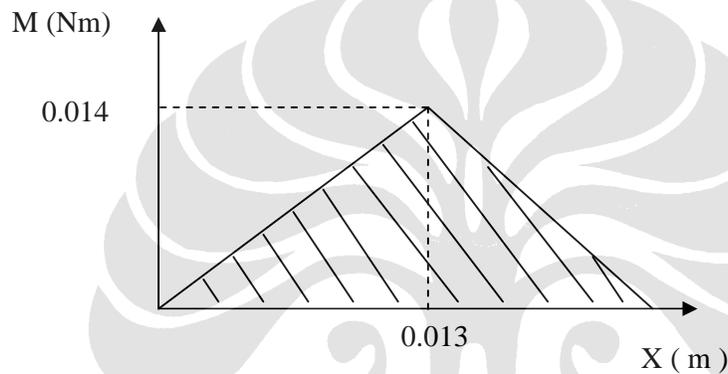
$$M_2 = 1.105X - 2.21X + 0.028N$$

$$M_2 = -1.105X + 0.028N$$

- $X=0.013, M_1 = 0.014$

- $X=0.026, M_1 = 0$

Moment Diagram

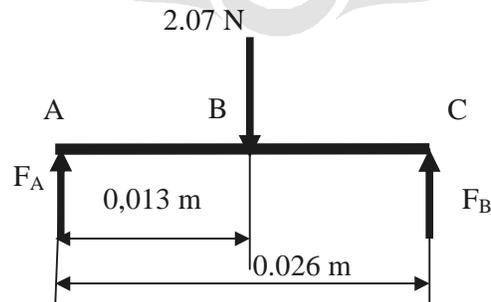


Gambar IV.21 : momen diagram poros Gripper toothpaste dispenser pada sumbu XY

Dan momen maksimum pada sumbu XY : 0.014Nm

Torsi =0, karena poros tidak berputar

Menghitung Momen Maksimum Pada Sumbu XZ :



Gambar IV.22.: free body diagram poros Gripper pada sumbu XZ

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_A + F_B = 2.07N$$

$$F_A + F_B = 2.07N$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$\Sigma M_A = 0.013 \cdot 2.07N - 0.026 \cdot F_B$$

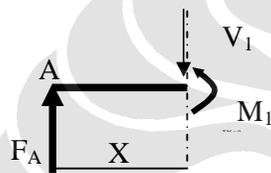
$$\Sigma M_A = 0.02691 - 0.026 F_B$$

$$F_B = 1.035N$$

$$F_A = 1.035N$$

Mencari momen pada tiap segmen :

Segmen AB ($0 < X < 0.013$)



$$\Sigma F_y = 0$$

$$V_1 = 1.035N$$

$$\Sigma M = 0$$

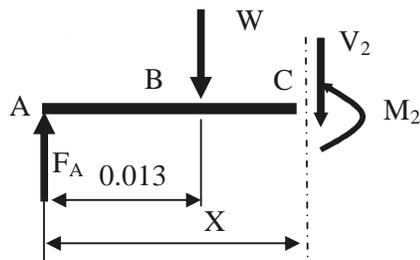
$$F_A \cdot X - M_1 = 0$$

$$M_1 = 1.035x$$

$$- X=0, M_1 = 0$$

$$- X=0.013 \Rightarrow M_1 = 1.035 \cdot 0.013 = 0.013N$$

Segmen BC ($0.013 < X < 0.026$)



$$\Sigma F_y = 0$$

$$V_2 = F_A - 2.07$$

$$V_2 = 1.035 - 2.07$$

$$V_2 = -1.035 (\text{arah terbalik})$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M_2 = F_A(X) - 2.07(X - 0.013)$$

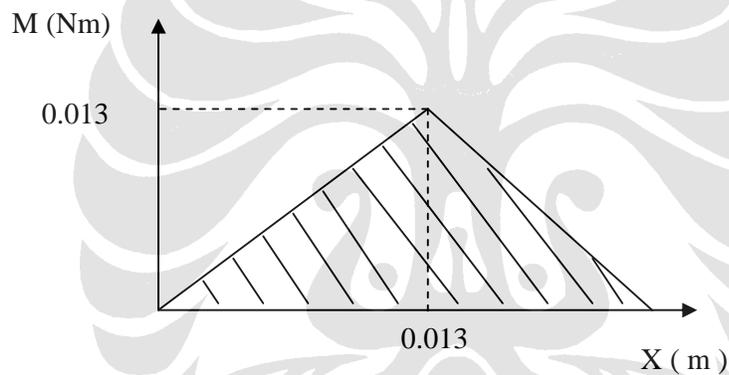
$$M_2 = 1.035X - 2.07X + 0.027N$$

$$M_2 = -1.035X + 0.027N$$

$$- X=0.013, M_1 = 0.013$$

$$- X=0.026, M_1 = 0$$

Moment Diagram



Gambar IV.23 : momen diagram poros Gripper toothpaste dispenser pada sumbu XZ

Dan momen maksimum pada sumbu XZ : 0.013 Nm

Torsi = 0, karena poros tidak berputar

Jadi momen maksimum :

$$M_x = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2}$$

$$M_x = \sqrt{0.014^2 + 0.013^2}$$

$$M_x = \sqrt{0.000196 + 0.00069}$$

$$M_x = \sqrt{0.000365}$$

$$M_x = 0.019 Nm$$

Jadi momen maksimum : 0.019 Nm

Karena mencari material yang diinginkan, maka menghitung besar S_y :

$$S_y = \frac{32n_s}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + \frac{3}{4}T^2}$$

Diketahui :

Panjang poros : 26 mm

Diameter poros : 3 mm

Momen maksimum: 0.019 N

Torsi : 0 (tidak mengalami putaran)

Safety Factor : Dalam proses penghitungan *Safety Factor* ini, kami menggunakan cara *Puglsey Safety Factor* [1].

Kesimpulan :

- Nilai A : dipilih g, karena poros merupakan hal yang sangat vital
- Nilai B : dipilih f, karena dalam hal ini telah ditentukan beban maksimum yang diterima poros tidak terlalu besar.
- Nilai C : dipilih g, karena tegangan yang dihitung belum tentu sama pada kondisi real
- Nilai D : dipilih ns, pemilihan ini didasarkan karena pada pemakaiannya tidak terlalu berbahaya bagi manusia
- Nilai E : dipilih vs, karena dalam perncangan ini kami menginginkan harga yang terjangkau bagi masyarakat.

Sehingga didapatkan nilai *safety factor* = (2.05)(1.4) = 2,87

Setelah semua parameter didapatkan maka S_y dapat dicari :

$$S_y = \frac{32n_s}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + \frac{3}{4}T^2}$$

$$S_y = \frac{32 \cdot 2.87}{3.14 \cdot 0.003^3} \sqrt{0.019^2 + 0}$$

$$S_y = \frac{91.84}{8.5 \cdot 10^{-8}} \cdot 0.019$$

$$S_y = 20.6 \text{ Mpa}$$

Jadi agar poros aman digunakan maka dicari material yang memiliki nilai yield strength diatas 20.6 Mpa. Untuk mengatasi beban tersebut maka dipilih material steel AISI 1020 yang memiliki nilai yield strength sebesar 295 Mpa (hamrock). Setelah menentukan

diameter dan material, maka langkah selanjutnya adalah menguji kegagalan atau failure dari material. Karena material yang digunakan bersifat ductile maka menggunakan DET (*distorsion energy theory*) atau *Von Misses*.

Menghitung nilai *Von Misses* [1]:

1. Mencari *momen inersia* dari benda. Persamaan yang digunakan dalam mencari *momen inersia* bergantung dari bentuk bendanya.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3.14 \cdot (0.003)^4}{64} = 3.97 \cdot 10^{-12}$$

2. Mencari *shear stress* dari torsi : $\tau = \frac{T c}{J}$ dalam hal ini torsi adalah 0, sehingga *shear stress* tidak ada

3. Mencari *Tensile stress* dari *bending* : $\sigma = \frac{M c}{I}$

$$\text{Maka } \sigma_x = \frac{M_x c}{I} = \frac{0.013 \cdot (1.5) \cdot (10^{-3})}{3.97 \cdot 10^{-12}} = 4.9 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_y = \frac{M_y c}{I} = \frac{0.014 \cdot (1.5) \cdot (10^{-3})}{3.97 \cdot 10^{-12}} = 5.28 \text{ Mpa}$$

4. Mencari *principal normal stress* :

$$\begin{aligned} \sigma_1, \sigma_2 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\tau_{xy}^2 + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2} \\ &= \frac{4.9 + 5.28}{2} \pm \sqrt{0^2 + \left(\frac{4.9 - 5.28}{2}\right)^2} \end{aligned}$$

$$= \frac{10.18}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-0.38}{2}\right)^2}$$

$$= 5.09 \pm 0.0361$$

5. *Von misses stress* : $\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2)^{0.5}$

$$\text{Maka } \sigma_1 = 5.12 \quad \sigma_2 = 5.05$$

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \\ &= \sqrt{5.12^2 + 5.05^2 - 5.12 \cdot 5.05} \\ &= 5.08 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6. Prediksi kegagalan pada *DET* terjadi jika : $\sigma_e \geq \frac{S_y}{n_s}$

Agar poros aman digunakan maka :

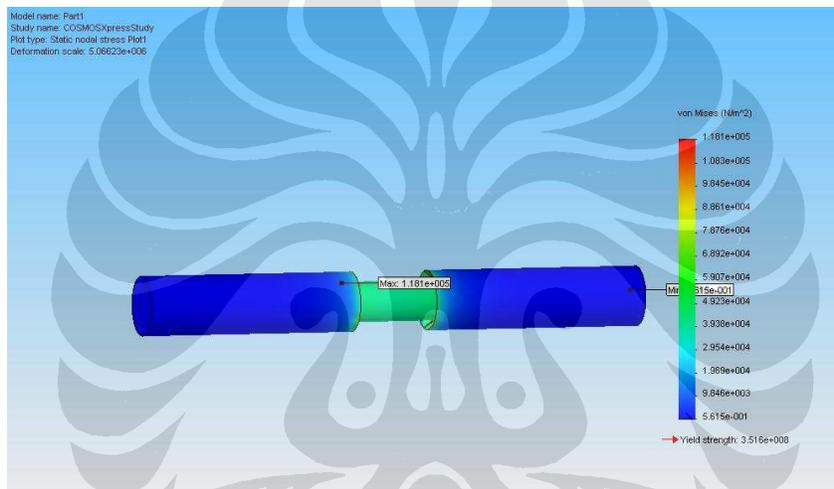
$$\sigma_e \leq \frac{S_y}{N_s}$$

$$5.08 \leq \frac{295}{2,87} \quad (IV.18)$$

$$5.08 \leq 102.7$$

Simulasi beban pada poros dengan menggunakan *software Cosmos* :

Simulasi dilakukan dengan material poros berupa *AISI 1020* dan gaya yang diberikan 4.28 N.

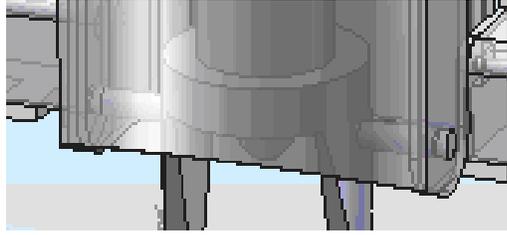


Gambar IV.24 : simulasi kekuatan poros pompa toothpaste dispenser dengan software cosmos

Dari gambar data diatas dapat diketahui *von misses* poros poros $9.23 \cdot 10^4$ Nm^2 . atau sama dengan 0.09 Mpa, hasil ini berbeda dengan hasil dari perhitungan manual yang menunjukkan nilai *von misses* : 5.08 Mpa. Dari kedua hasil perhitungan *von misses* menunjukkan bahwa material poros yang dipilih masih mampu menahan beban yang dibebankan pada poros.

IV.2.7 Perancangan Poros Utama Pada *Gripper Toothpaste Dispenser*

Perancangan poros ini dilakukan dengan menentukan diameter dari produk, lalu mencari material sesuai dengan perhitungan. Poros yang akan dihitung merupakan poros utama yang menyangga badan *Gripper Toothpaste Dispenser*.



Gambar IV.25: Poros utama Gripper Toothpaste Dispenser

Dalam merancang poros ini dilakukan beberapa asumsi :

- Berat keseluruhan *Gripper Toothpaste Dispenser* adalah 1.5 Kg, asumsi ini diambil merujuk dari berat *Pump Toothpaste Dispenser* seberat 800 gram. Karena dimensi dari *Gripper Toothpaste Dispenser* dua kali dari *Pump Toothpaste Dispenser*. Maka kami berani mengambil asumsi ini.
- Terdapat dua buah poros yang digunakan, maka beban total dari poros terbagi dua sama besar, yakni setiap poros menerima berat 0.75 Kg atau sekitar 7.35 N.

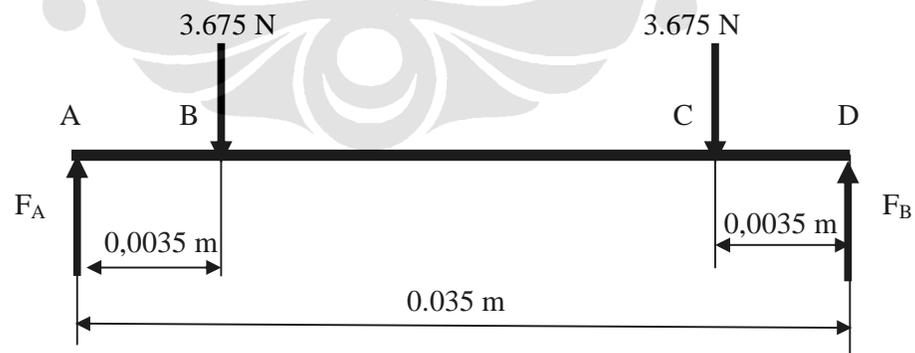
Dari asumsi yang diambil maka perhitungan poros dapat dilakukan :

Panjang poros : 35 mm

Gaya yang menekan poros merupakan gaya dari pegas dan berat pompa:

- searah sumbu XY : berat dari *Gripper Toothpaste Dispenser*.
- Searah sumbu XZ: gaya dari pegas yang digunakan untuk memencet *Gripper Toothpaste Dispenser*.

Menghitung Momen Maksimum Pada Sumbu XY :



Gambar IV.26: free body diagram poros Gripper toothpaste dispenser pada sumbu XY

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_A + F_B = 3.675N + 3.675N$$

$$F_A + F_B = 7.35N$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$\Sigma M_A = 0.0035 \cdot 3.675 + 0.0315 \cdot 3.675 - 0.035 \cdot F_B$$

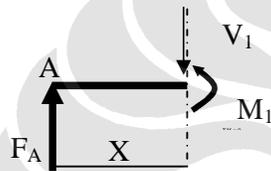
$$\Sigma M_A = 0.0128 + 0.115 - 0.035 F_B$$

$$F_B = 3.675 N$$

$$F_A = 3.675 N$$

Mencari momen pada tiap segmen :

Segmen AB ($0 < X < 0.0035$)



$$\Sigma F_y = 0$$

$$V_1 = 3.675 N$$

$$\Sigma M = 0$$

$$F_A \cdot X - M_1 = 0$$

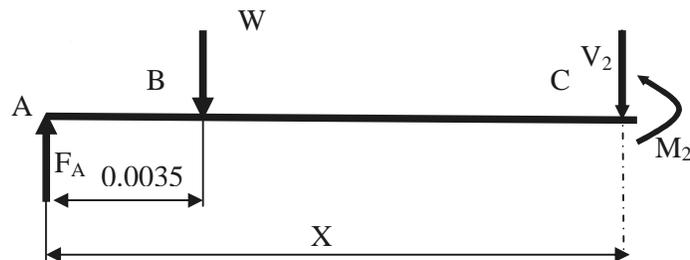
$$M_1 = 3.675 x$$

$$- X=0, M_1 = 0$$

$$- X=0.0035 \Rightarrow M_1 = 3.675 \cdot 0.0035 = 0.0128N$$

-

Segmen BC ($0.0035 < X < 0.0315$)



$$\Sigma F_y = 0$$

$$V_2 = F_A - 3.675$$

$$V_2 = 3.675 - 3.675$$

$$V_2 = 0$$

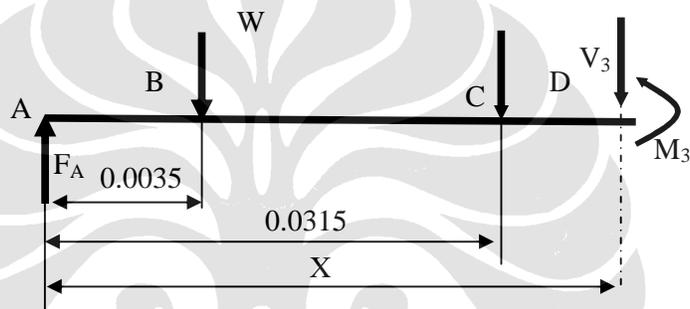
$$\Sigma M = 0$$

$$M_2 = F_A(X) - 3.675(X - 0.0035)$$

$$M_2 = 3.675X - 3.675X + 0.0128$$

$$M_2 = 0.0128N$$

Segmen CD ($0.0315 < X < 0.035$)



$$\Sigma F_y = 0$$

$$V_3 = F_A - 3.675 - 3.675$$

$$V_3 = 0 - 3.675$$

$$V_3 = -3.675$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M_2 = F_A(X) - 3.675(X - 0.0035) - 3.675(X - 0.0315)$$

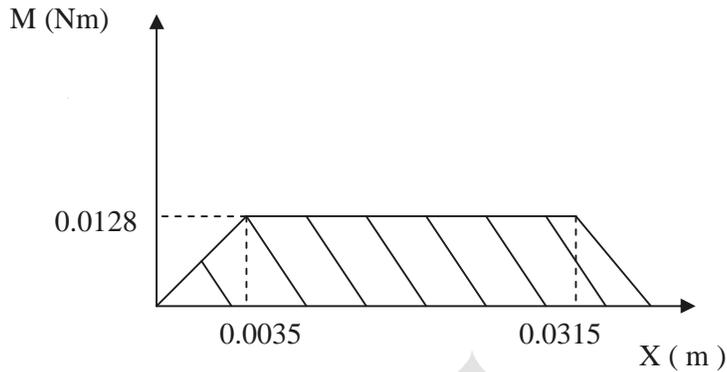
$$M_2 = 3.675X - 3.675X + 0.0128 - 3.675X + 0.115$$

$$M_2 = -3.675X + 0.1278$$

- $X=0.0315, M_3 = 0.0128$

- $X=0.0035, M_3 = 0$

Moment Diagram



Gambar IV.27 : momen diagram poros Gripper toothpaste dispenser pada sumbu XY

Dan momen maksimum pada sumbu XY : 0.0128 Nm

Torsi = 0, karena poros tidak berputar

Menghitung Momen Maksimum Pada Sumbu XZ :

Pada arah sumbu X, gaya yang diberikan diakibatkan oleh gaya pegas yang digunakan untuk menekan *Gripper toothpaste dispenser*. Terdapat empat buah pegas yang digunakan untuk menekan. Jadi diasumsikan setiap poros hanya menerima dua buah gaya pegas, gaya pegas ini letaknya sama seperti gaya yang menimpa pada sumbu Y.

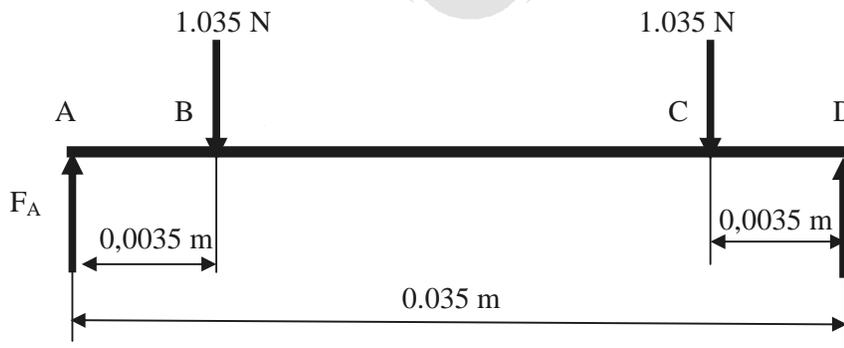
$$\Delta x = 1.8 \text{ mm}$$

$$\text{Gaya pegas : } F = K \cdot \Delta x$$

$$F = 575 \cdot 0.0018$$

$$F = 1.035 \text{ N}$$

Jadi setiap pegas memberikan gaya 1.035 N



Gambar IV.28.: free body diagram poros Gripper toothpaste dispenser pada sumbu XZ

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_A + F_B = 1.035N + 1.035N$$

$$F_A + F_B = 2.07N$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$\Sigma M_A = 0.0035 \cdot 1.035 + 0.0315 \cdot 1.035 - 0.035 \cdot F_B$$

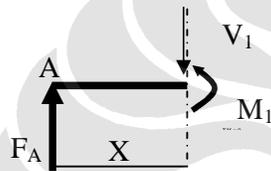
$$\Sigma M_A = 0.0036 + 0.032 - 0.035 F_B$$

$$F_B = 1.035 N$$

$$F_A = 1.035 N$$

Mencari momen pada tiap segmen :

Segmen AB ($0 < X < 0.0035$)



$$\Sigma F_y = 0$$

$$V_1 = 1.035 N$$

$$\Sigma M = 0$$

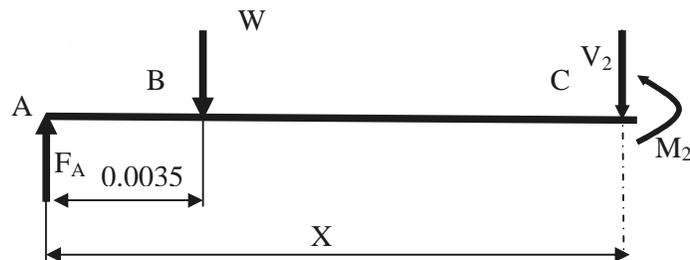
$$F_A \cdot X - M_1 = 0$$

$$M_1 = 1.035 x$$

$$- X=0, M_1 = 0$$

$$- X=0.0035, M_1 = 1.035 \cdot 0.0035 = 0.0036 N$$

Segmen BC ($0.0035 < X < 0.0315$)



$$\Sigma F_y = 0$$

$$V_2 = F_A - 1.035$$

$$V_2 = 1.035 - 1.035$$

$$V_2 = 0$$

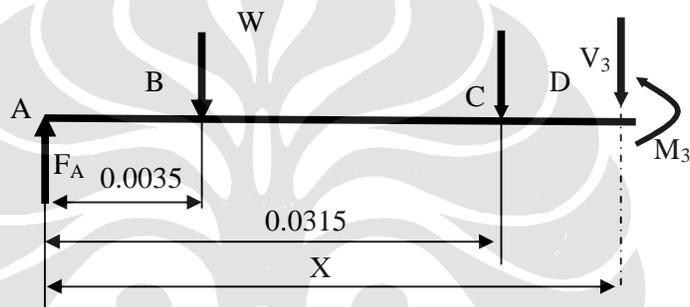
$$\Sigma M = 0$$

$$M_2 = F_A(X) - 1.035(X - 0.0035)$$

$$M_2 = 1.035X - 1.035X + 0.0091$$

$$M_2 = 0.0036N$$

Segmen CD ($0.0315 < X < 0.035$)



$$\Sigma F_y = 0$$

$$V_3 = F_A - 1.035 - 1.035$$

$$V_3 = 0 - 1.035$$

$$V_3 = -1.035$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M_2 = F_A(X) - 1.035(X - 0.0035) - 1.035(X - 0.0315)$$

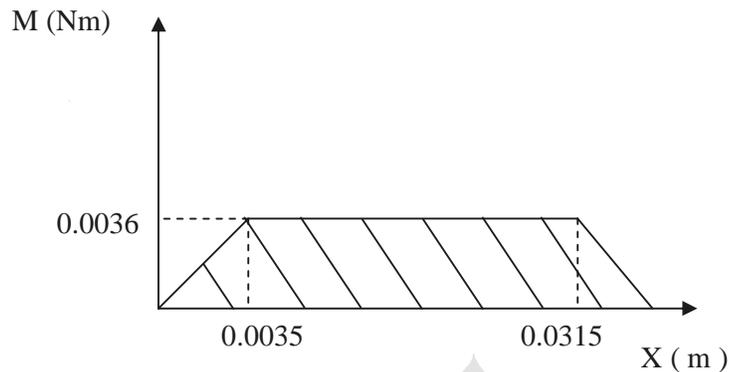
$$M_2 = 1.035X - 1.035X + 0.0036 - 1.035X + 0.032$$

$$M_2 = -1.035X + 0.0356$$

- $X=0.0315, M_3 = 0.0036$

- $X=0.0035, M_3 = 0$

Moment Diagram



Gambar IV.29 : momen diagram poros Gripper toothpaste dispenser pada sumbu XZ

Dan momen maksimum pada sumbu X : 0.0036 Nm

Jadi momen maksimum :

$$\begin{aligned}M_x &= \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2} \\M_x &= \sqrt{0.0128^2 + 0.0036^2} \\M_x &= \sqrt{0.00016 + 0.000013} \\M_x &= \sqrt{0.00017} \\M_x &= 0.015 Nm\end{aligned}$$

Jadi momen maksimum : 0.015 Nm

Karena mencari material yang diinginkan, maka menghitung besar S_y :

$$S_y = \frac{32n_s}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + \frac{3}{4}T^2}$$

Diketahui :

Panjang poros : 35 mm

Diameter poros : 8 mm

Momen maksimum: 0.015 N

Torsi : 0 (tidak mengalami putaran)

Safety Factor : Dalam proses penghitungan *Safety Factor* ini, kami menggunakan cara *Puglsey Safety Factor* [1].

Kesimpulan :

- Nilai A : dipilih g, karena poros merupakan hal yang sangat vital
- Nilai B : dipilih f, karena dalam hal ini telah ditentukan beban maksimum yang diterima poros tidak terlalu besar.

- Nilai C : dipilih g, karena tegangan yang dihitung belum tentu sama pada kondisi real
- Nilai D : dipilih ns, pemilihan ini didasarkan karena pada pemakaiannya tidak terlalu berbahaya bagi manusia
- Nilai E : dipilih vs, karena dalam perncangan ini kami menginginkan harga yang terjangkau bagi masyarakat.

Sehingga didapatkan nilai $safety\ factor = (2.05)(1.4) = 2,87$

Setelah semua parameter didapatkan maka S_y dapat dicari :

$$S_y = \frac{32n_s}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + \frac{3}{4}T^2}$$

$$S_y = \frac{32 \cdot 2.87}{3.14 \cdot 0.008^3} \sqrt{0.013^2 + 0}$$

$$S_y = \frac{91.84}{1.6 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.013$$

$$S_y = 746\ Kpa$$

Jadi agar poros aman digunakan maka dicari material yang memiliki nilai yield strength diatas 746 Kpa. Untuk mengatasi beban tersebut maka dipilih material alumunium yang memiliki nilai yield strength sebesar 17 Mpa (hamrock). Alumunium dipilih karena material mudah didapat dan ringan. Setelah menentukan diameter dan material, maka langkah selanjutnya adalah menguji kegagalan atau failure dari material. Karena material yang digunakan bersifat ductile maka menggunakan DET (*distorsion energy theory*) atau Von Misses. Langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Mencari *momen inersia* dari benda. Persamaan yang digunakan dalam mencari *momen inersia* bergantung dari bentuk bendanya.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{3.14 \cdot (0.008)^4}{64} = 2.10^{-10}$$

2. Mencari *shear stress* dari *torsi* : $\tau = \frac{T c}{J}$ dalam hal ini torsi adalah 0, sehingga shear stress tidak ada

3. Mencari *Tensile stress* dari *bending* : $\sigma = \frac{M c}{I}$

Maka
$$\sigma_y = \frac{Mc}{I} = \frac{0.0128 \cdot (4) \cdot (10^{-3})}{2 \cdot 10^{-10}} = 0.256 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_x = \frac{M_x c}{I} = \frac{0.0036 \cdot (4) \cdot (10^{-3})}{2 \cdot 10^{-10}} = 0.072 \text{ Mpa}$$

4. Mencari *principal normal stress* :

$$\begin{aligned} \sigma_1, \sigma_2 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\tau_{xy}^2 + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2} \\ &= \frac{0.256 + 0.072}{2} \pm \sqrt{0^2 + \left(\frac{0.072 - 0.256}{2}\right)^2} \\ &= 0.164 \pm 0.008 \end{aligned}$$

5. *Von misses stress* : $\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2)^{0.5}$

Maka $\sigma_1 = 0.172$ $\sigma_2 = 0.156$

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \\ &= \sqrt{0.172^2 + 0.156^2 + 0.026} \\ &= 0.08 \text{ MPa} \end{aligned}$$

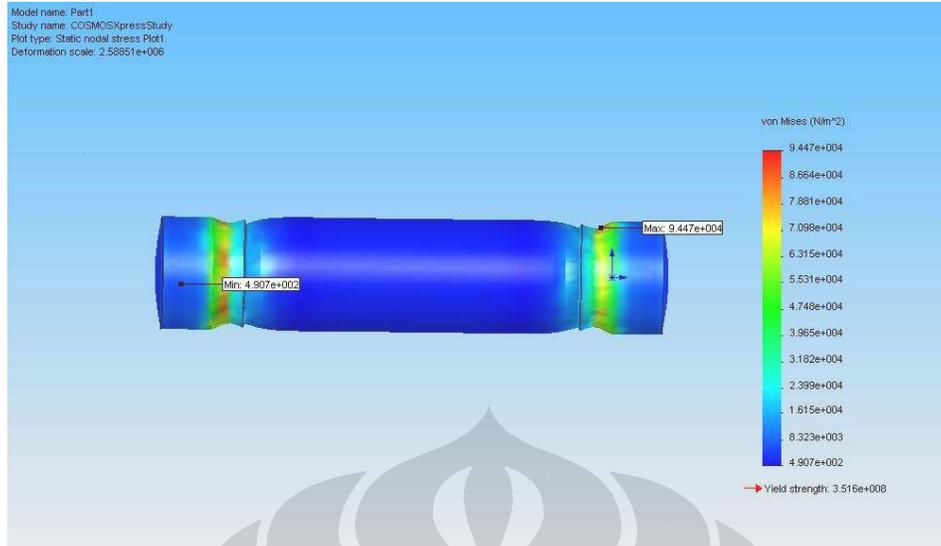
6. Prediksi kegagalan pada *DET* terjadi jika : $\sigma_e \geq \frac{S_y}{n_s}$

Agar poros aman digunakan maka :

$$\begin{aligned} \sigma_e &\leq \frac{S_y}{N_s} \\ 0.08 &\leq \frac{17}{2.87} \\ 0.08 &\leq 5.92 \end{aligned}$$

Simulasi beban pada poros dengan menggunakan *software Cosmos* :

Simulasi dilakukan dengan material poros berupa *Aluminium* dan gaya yang diberikan 4.71 N.



Gambar IV.30 : simulasi kekuatan poros pompa toothpaste dispenser dengan software cosmos

Dari gambar data diatas dapat diketahui *von misses* poros poros $9.47 \cdot 10^4$ Nm^2 . atau sama dengan 0.09 Mpa, hasil ini berbeda dengan hasil dari perhitungan manual yang menunjukkan nilai *von misses* : 0.08 Mpa. Dari kedua hasil perhitngan *von misses* menunjukkan bahwa material poros yang dipilih masih mampu menahan beban yang dibebankan pada poros.

BAB V ANALISA

VI.1 Analisa Desain

Dari dua desain yang telah dibuat sangat jelas perbedaan dari keduanya, untuk desain yang pertama menggunakan metode *pump* dan yang kedua menggunakan metode *grip*. Perbedaan yang pertama tentu saja dari dimensi keduanya. Untuk desain *toothpaste dispenser* dengan metoda *pump* memiliki dimensi :

Panjang = 105 mm

Lebar = 70 mm

Tinggi = 300 mm

Sedangkan untuk metode *grip* :

Panjang = 200 mm

Lebar = 80 mm

Tinggi = 300 mm

Pump toothpaste dispenser memiliki desain yang lebih kecil hal ini disebabkan mekanisme kerjanya yang cukup sederhana sehingga menyebabkan *cassing* yang dibuat cukup kecil, selain itu tempat sikat gigi yang terdapat didalamnya hanya ada dua buah. Sedangkan untuk *gripper toothpaste dispenser* memiliki bentuk yang lebih besar karena terdapat mekanisme menyerupai engkol yang membutuhkan *space* yang cukup besar dan terdapat tempat sikat gigi yang cukup banyak, tempat sikat gigi ini tentunya menambah dimensi. Tetapi dimensi dari kedua produk tersebut masih sesuai jika ditempatkan pada *interior* kamar mandi.

Selain dimensi, pemilihan material pada desain kedua produk ini sangat penting. Dari kedua desain banyak material yang dipilih adalah *polyurethane* dan *akrilik*, selebihnya adalah *aluminium* dan *steel*. *Polyurethane* banyak digunakan karena bahannya yang ringan, mudah di manufaktur dan warna dan bentuknya yang menarik yakni putih susu. Sedangkan untuk *akrilik* banyak digunakan sebagai *cassing*, dalam pemilihan *akrilik* dipilih *akrilik* yang putih bening hal ini bertujuan untuk menambah

nilai estetika dan juga mempunyai nilai fungsi bagi pengguna agar dapat melihat isi dari pasta gigi jika dalam pemakaiannya habis dan perlu di isi ulang.

VI.2 Analisa Produk

Untuk analisa produk, hanya akan dibahas toothpaste dispenser dengan metode *pump*, hal ini disebabkan pada waktu penulisan produk *toothpaste dispenser* dengan metode *gripper* belum selesai dibuat. Produk *pump toothpaste dispenser* yang telah dibuat sudah mampu membantu mengeluarkan *fluida* pasta gigi dari wadahnya, akan tetapi dalam mengeluarkan *fluida* pasta gigi masih belum bisa dikontrol hal ini disebabkan karena beberapa hal :

- Masih adanya udara yang terhisap masuk ke dalam pompa *toothpaste dispenser* sehingga membuat tekanan hisap yang bekerja tidak begitu sempurna karena *fluida* yang dihisap bukan murni *fluida* pasta gigi tetapi *fluida* udara juga ikut terhisap.
- Kurang presisinya pembuatan komponen-komponen dari produk, sehingga membuat *pump toothpaste dispenser* kurang bekerja dengan maksimal
- Tidak tersedianya material komponen yang berada di pasaran, sehingga fungsi dari produk tidak sesuai dengan yang diharapkan.

Jika hal-hal diatas dapat ditanggulangi maka mekanisme kerja dari *pump toothpaste dispenser* dapat bekerja dengan maksimum. Produk dari *pump toothpaste dispenser* ini juga memiliki pangsa pasar yang cukup luas yakni pada hotel, apartemen dan mungkin saja dipasarkan pada produsen pasta gigi.

VI.3 Perbandingan Dua Buah Sistem *Toothpaste Dispenser*

Dalam membandingkan dua buah metode toothpaste dispenser, yakni metode *pump* dan *gripper* maka langkah pertaman yang harus dilakukan adalah mengklarifikasi karakteristik dan fungsi yang dimiliki oleh masing-masing metode. Karakteristik dan fungsi ini akan dijadikan poin-poin yang akan dibandingkan satu sama lain. Dari poin-poin ini akan diberi ranking dan diurutkan sesuai dengan tingkat urgensitasnya pada produk. Dari poin tersebut lalu akan dibuat tabel sebagai pembanding. Berikut ini adalah tabel karakteristik dan fungsi yang dimiliki oleh kedua buah metode toothpaste dispenser :

Tabel V.1 perbandingan dua metode toothpaste dispenser

No	Point of comparation	Metode Pump	Metode Gripper
1	Estimasi waktu pengerjaan	3 jam	5 jam
2	Jumlah komponen	11 komponen	19 komponen
3	Biaya	Prototype =Rp. 787.000,- Massal = Rp. 113.612,-	Prototype = Rp.1.084.000,- Massal = Rp.156.644,-
4	Metode pengerjaan	Turning dan heat treatment	Turning, milling dan heat treatment
5	Assembly	Mudah	sulit
6	Dimensi	P = 105 mm L = 70 mm T = 300 mm 600 gram	P = 200 mm L = 80 mm T = 300 mm 1500 gram
7	Mekanismen kerja	4.14 N	10.06 N
8	efisiensi pemakaian pasta	Habis terpakai	Terdapat sisa

Dari poin-poin perbandingan di atas maka perlu diurutkan berdasarkan tingkat kepentingannya. Tingkat kepentingan yang paling tinggi akan diberi nilai yang paling besar, begitu juga sebaliknya. Maka kami menetapkan bahwa efisiensi pemakaian pasta merupakan hal yang terpenting, hal ini mengingat keefektifan dari sebuah produk tercapai jika produk tersebut mampu bekerja dengan baik dan maksimal. Berikut ini adalah tabel perbandingan kepentingan :

Tabel V.2 Perbandingan kepentingan (Semakin besar maka semakin baik/penting)

Estimasi waktu pengerjaan	1
Jumlah komponen	2
Biaya	5
Metode pengerjaan	4
Assembly	3
Dimensi	6
Mekanismen kerja	7
efisiensi pemakaian pasta	8

Langkah selanjutnya adalah memberi peringkat pada setiap desain dengan ketentuan yang ada pada tabel V.1.

Tabel V.3 Peringkat dan nilainya

1	Kurang Baik
2	Baik

Tabel V.4 Perbandingan dua metode toothpaste dispenser berdasar peringkat

No	<i>Point of Comparison</i>	Metode Pump	Metode Gripper
1	Estimasi waktu pengerjaan	2	1
2	Jumlah komponen	2	1
3	Biaya	2	1
4	Metode pengerjaan		1
5	<i>Assembly</i>	2	1
6	Dimensi	2	1
7	Mekanismen kerja	2	1
8	efisiensi pemakaian pasta	2	1

Kemudian hasil dari tabel V.4 nilainya dikalikan dengan hasil tabel V.2. Hasilnya sebahai berikut :

Tabel V.5 : Hasil perkalian

No	<i>Point of Comparison</i>	Metode Pump	Metode Gripper
1	Estimasi waktu pengerjaan	2	1
2	Jumlah komponen	4	2
3	Biaya	10	5
4	Metode pengerjaan	8	4
5	<i>Assembly</i>	6	3
6	Dimensi	12	6
7	Mekanismen kerja	14	7
8	efisiensi pemakaian pasta	16	8
Total		72	36

Dari hasil perbandingan diatas dapat diketahui jika toothpaste dispenser dengan metode pump lebih baik dibandingkan metode gripper.