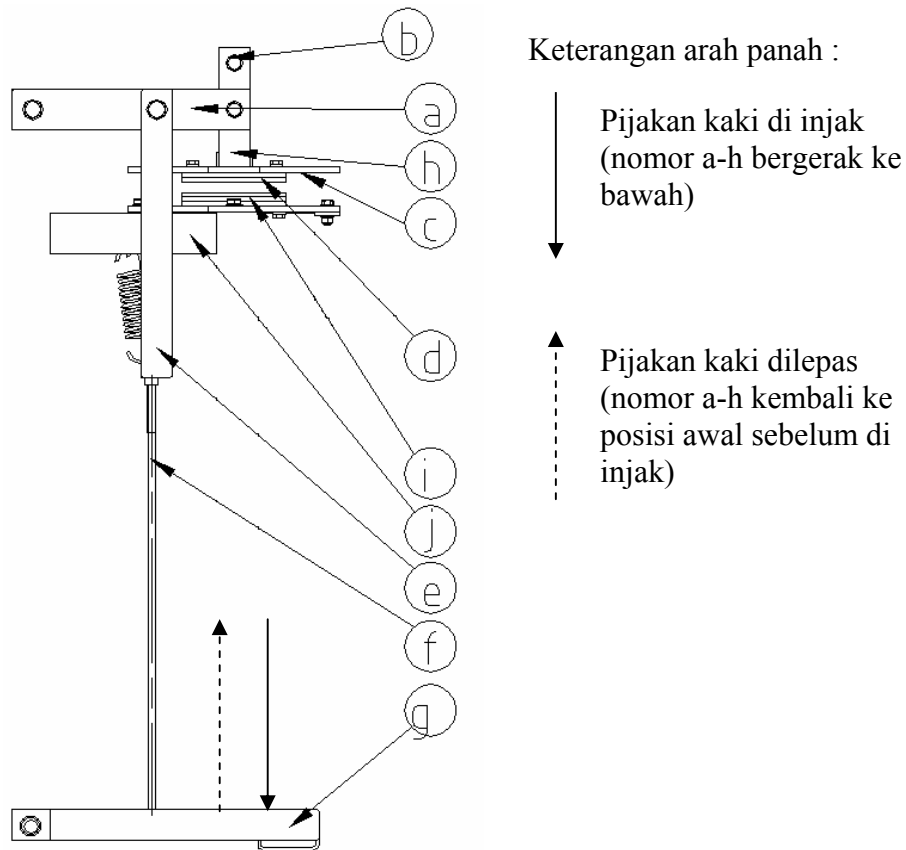


4. PERHITUNGAN

4.1. Pegas Tarik

Pegas dalam mesin ini digunakan untuk dapat menahan beban tarik yang diberikan oleh pijakan pedal. Gaya tarik ini dimaksudkan untuk membuka dan menutup plat bagian atas yang berisi *heater* (tidak digambar pada mekanisme ini). *Heater* diletakkan antara plat nomor C dan plat nomor D, pada gambar 4.1.

Cara kerja pegas tarik ini pada gambar 4.1, adalah :

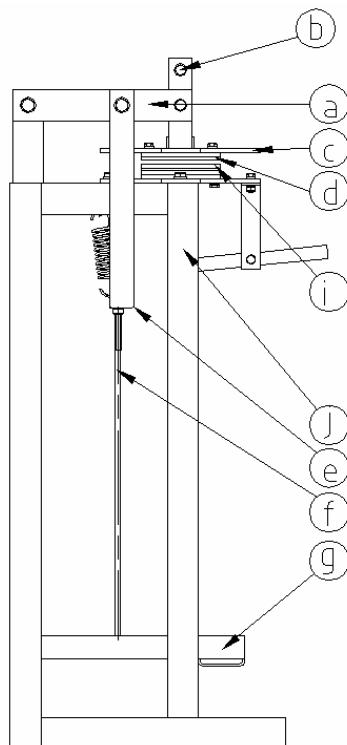


Gambar 4.1. Konsep Gambar

- Pijakan kaki (nomor g) di injak ke bawah, maka kerangka mesin yang bergerak dan yang berhubungan dengan kerja pegas (nomor a-h), ikut bergerak ke bawah. Pijakan kaki tersebut akan maksimal bila plat pengepres (nomor d), menyentuh cetakan bawah (nomor i) yang menempel pada kerangka sebagai tumpuan / kaki – kaki (nomor j). Sehingga plat bagian atas tersebut akan tertutup

- Bila proses pemanasan dan vacuum selesai, maka pijakan kaki (nomor g) dilepaskan sehingga kerangka mesin yang bergerak dan yang berhubungan dengan kerja pegas (nomor a-h) tadi akan kembali terbuka ke posisi awal, karena adanya gaya dari pegas tarik.

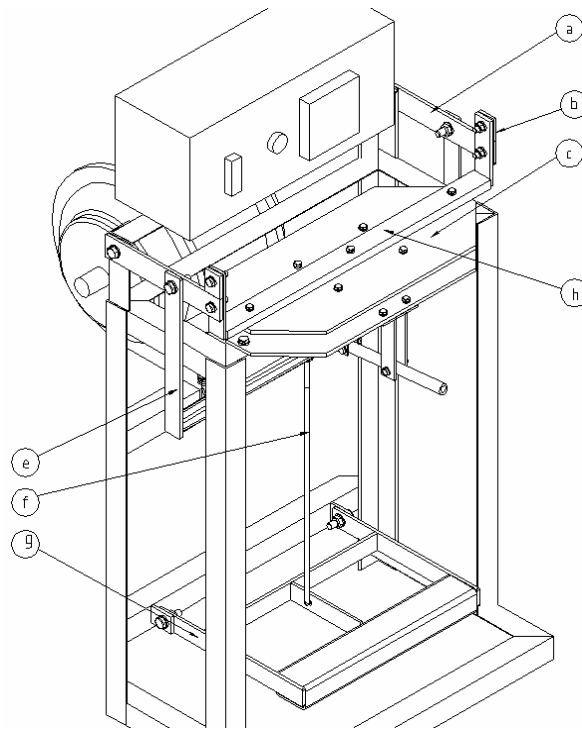
Jenis pegas yang digunakan dalam mesin ini adalah jenis pegas tarik. Bahan untuk kawat pegas dipilih jenis *high carbon steel* dengan jenis *music wire* (ASTM A228). Bahan ini merupakan baja kualitas tinggi, mempunyai kekuatan yang tinggi, tahan terhadap beban tarik, menghasilkan proses finishing dengan permukaan kawat yang bagus, dan mampu menahan keseimbangan rangka – rangka mesin (*Machine Elements in Mechanical Design Fourth Edition*). Bahan yang digunakan untuk membuat rangka – rangka yang berhubungan dengan kerja pegas, adalah plat baja St 37 dengan $\rho = 7,861 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ (<http://en.wikipedia.org/wiki/carbonsteel>). Dalam hal ini pegas bekerja untuk membuka dan menutup plat bagian atas. Bagian dari *plastic tray machine* yang berhubungan dengan pegas (diasumsikan dengan benda pejal) adalah :



Keterangan :

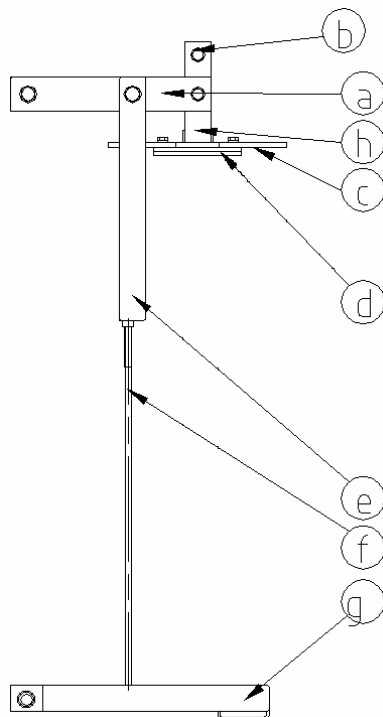
- Tuas pengungkit 1
- Tambahan di tuas pengungkit 1
- Plat landasan atas
- Plat pengepres
- Tuas pengungkit 2
- Penghubung tuas pengungkit 2 dengan pijakan kaki
- Pijakan kaki
- Plat dudukan landasan atas
- Cetakan bawah
- Kaki - kaki

Gambar 4.2. Gambar 2D kerangka mesin yang berhubungan dengan kerja pegas



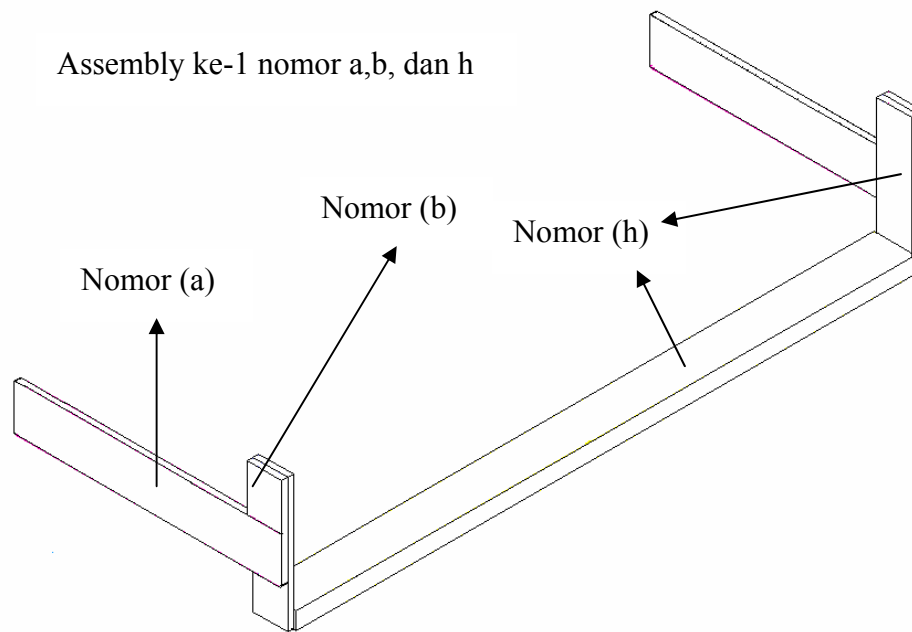
Gambar 4.3. Gambar 3D kerangka mesin yang berhubungan dengan kerja pegas

Komponen – komponen yang berhubungan dengan kerja pegas, ditunjukkan pada gambar 4.4. Dari gambar 4.4 ini dapat dihitung volume total dan berat total dari komponen – komponen yang berhubungan dengan kerja pegas.

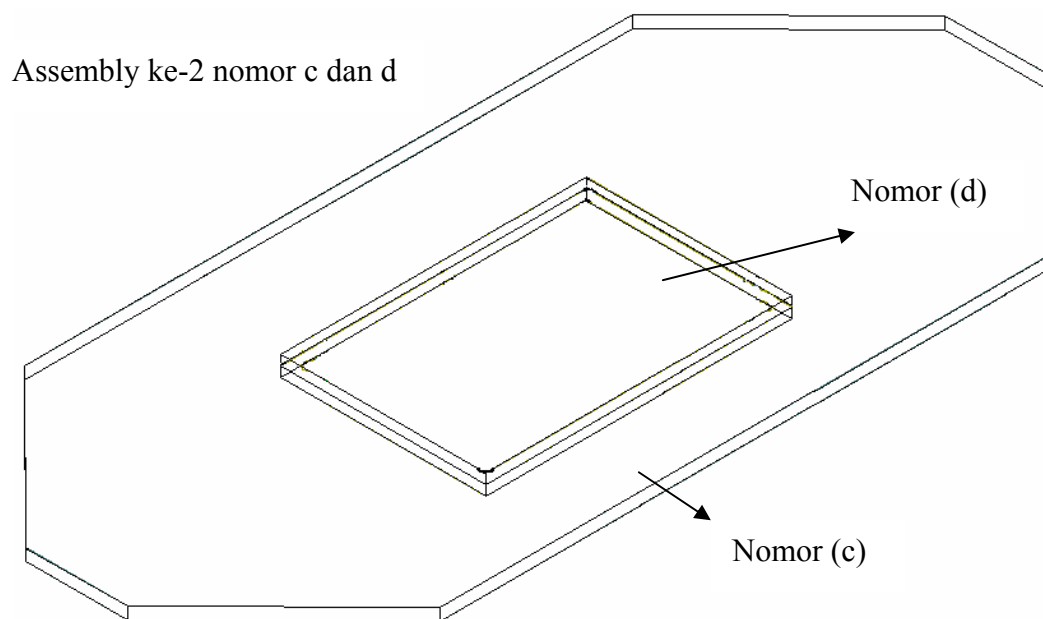


Gambar 4.4. komponen – komponen yang berhubungan dengan pegas

Keterangan Gambar 4.4. :



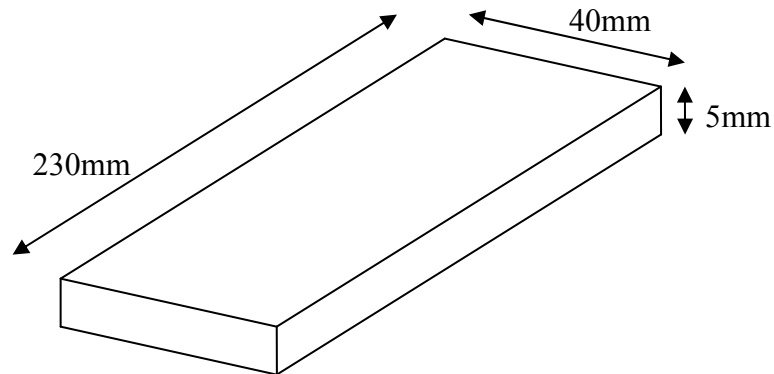
Gambar 4.5. Assembly ke-1



Gambar 4.6. Assembly ke-2

Perhitungan volume dari masing – masing komponen :

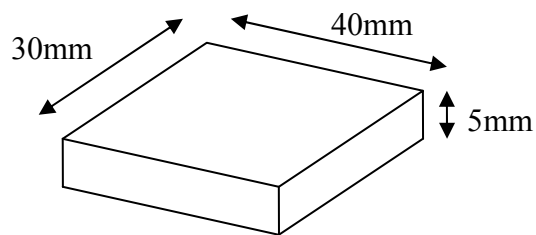
- a. 2 buah tuas pengungkit 1, dengan dimensi = $(230 \times 40 \times 5)\text{mm}$



Gambar 4.7. Tuas pengungkit 1

$$\begin{aligned} \text{Maka volume total adalah} &= 2 \times 46000 \text{ mm}^3 \\ &= 92000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

- b. 2 buah tambahan di tuas pengungkit 1, dengan dimensi = $(40 \times 30 \times 5)\text{mm}$

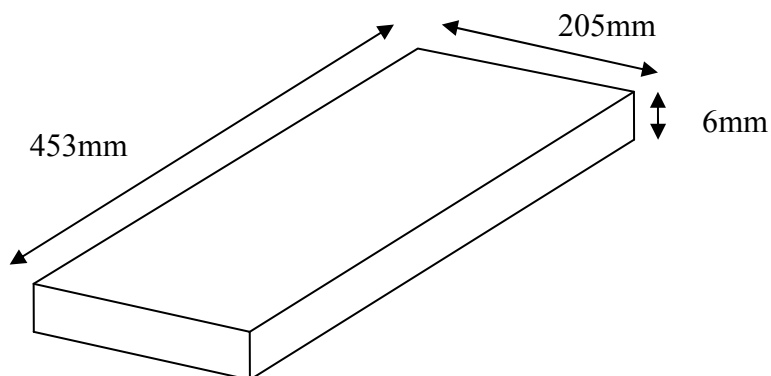


Gambar 4.8. Tambahan di tuas pengungkit 1

$$\begin{aligned} \text{Maka volume total adalah} &= 2 \times 6000 \text{ mm}^3 \\ &= 12000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

- c. Plat landasan atas berbentuk prisma segi-6, maka volumenya dapat dihitung dengan pengurangan volume balok dan volume 4 prisma segi-3.

$$\text{- Volume balok} = (453 \times 205 \times 6)\text{mm} = 557190 \text{ mm}^3$$

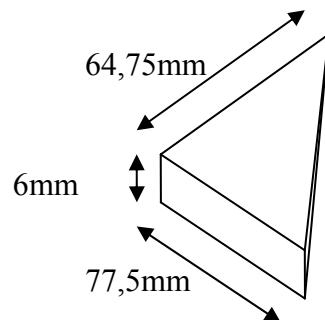


Gambar 4.9. Plat landasan atas berbentuk balok sebelum dipotong

$$\text{- Volume 1 prisma segi-3} = \text{luas alas} \times \text{tinggi}$$

$$= (0,5 \times 77,5 \times 64,75) \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$$

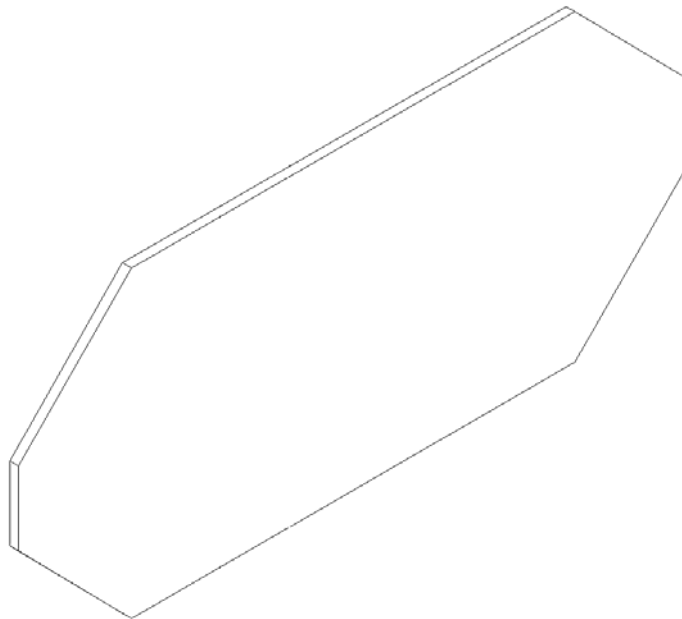
$$= 15054,4 \text{ mm}^3$$



Gambar 4.10. potongan prisma segi-3

$$\text{Volume 4 prisma segi-3} = 4 \times 15054,4 \text{ mm}^3$$

$$= 60217,6 \text{ mm}^3$$

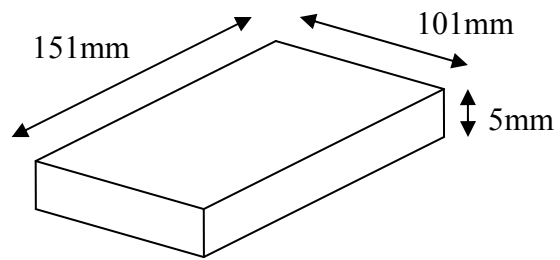


Gambar 4.11. Plat landasan atas

$$\text{Jadi Volume Plat Landasan atas} = (557190 - 60217,6) \text{ mm}^3$$

$$= 496972,4 \text{ mm}^3$$

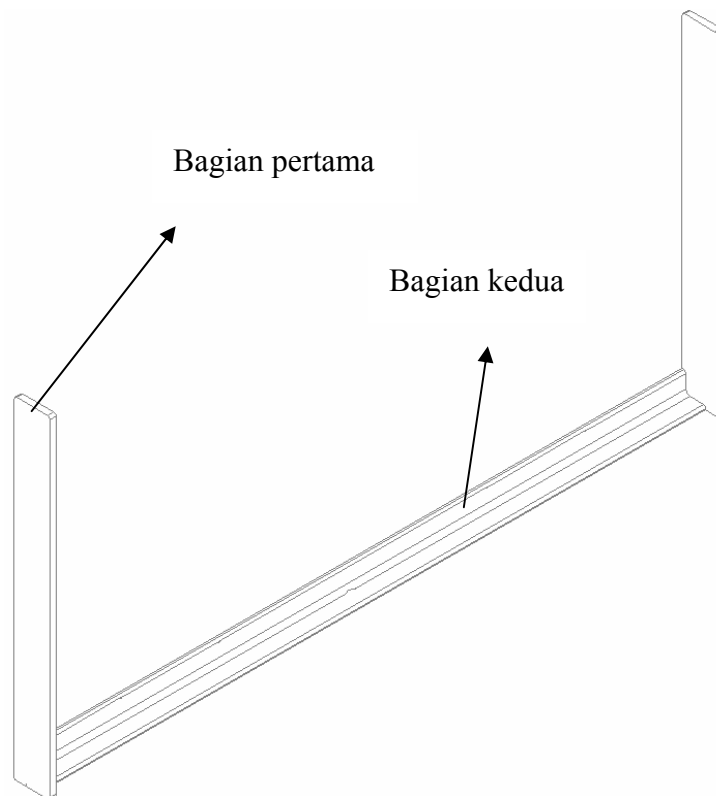
d. Plat pengepres, dengan dimensi = (151 x 101 x 5)mm



Gambar 4.12. Plat pengepres

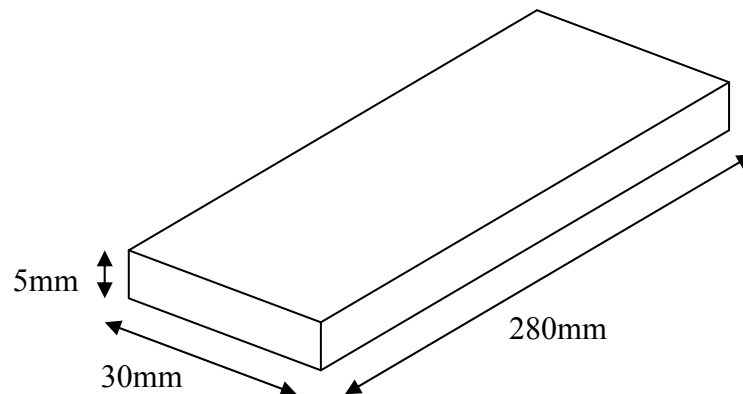
Maka volumenya adalah = 76255 mm^3

e. Tuas Pengungkit 2, dibagi menjadi 2 bagian :



Gambar 4.13. Assembly tuas pengungkit 2

1. bagian pertama adalah 2 plat dengan bentuk balok, dengan dimensi =
(280 x 30 x 5) mm



Gambar 4.14. Tuas pengungkit 2 bagian pertama

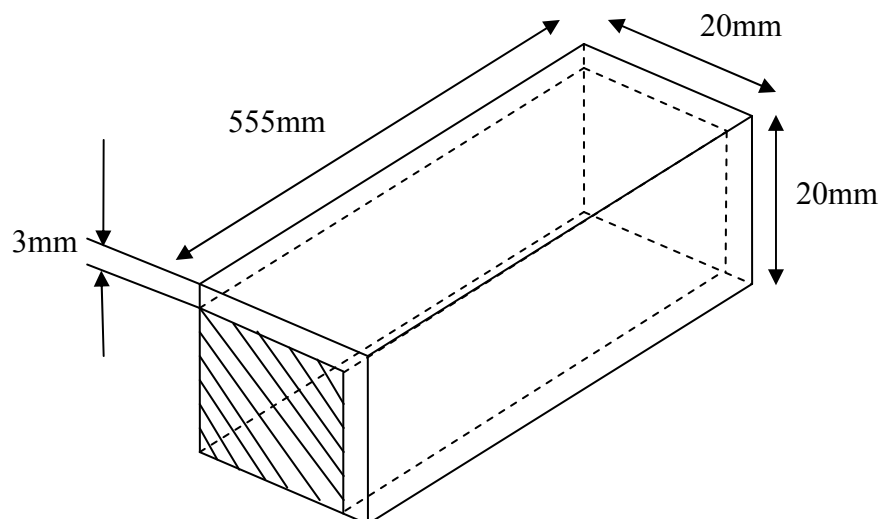
Maka volume total bagian pertama adalah :

$$V = 2 \times 42000 \text{ mm}^3 = 84000 \text{ mm}^3$$

2. Bagian kedua adalah plat berbentuk siku. Untuk menghitung volume plat siku ini, adalah pengurangan volume total dengan volume bagian yang akan dibuang, sehingga menghasilkan volume plat siku.

- Volume total = $(555 \times 20 \times 20) \text{ mm}^3 = 220000 \text{ mm}^3$

- Volume bagian yang akan dibuang = $(555 \times 17 \times 17) \text{ mm}^3$
= 160395 mm^3

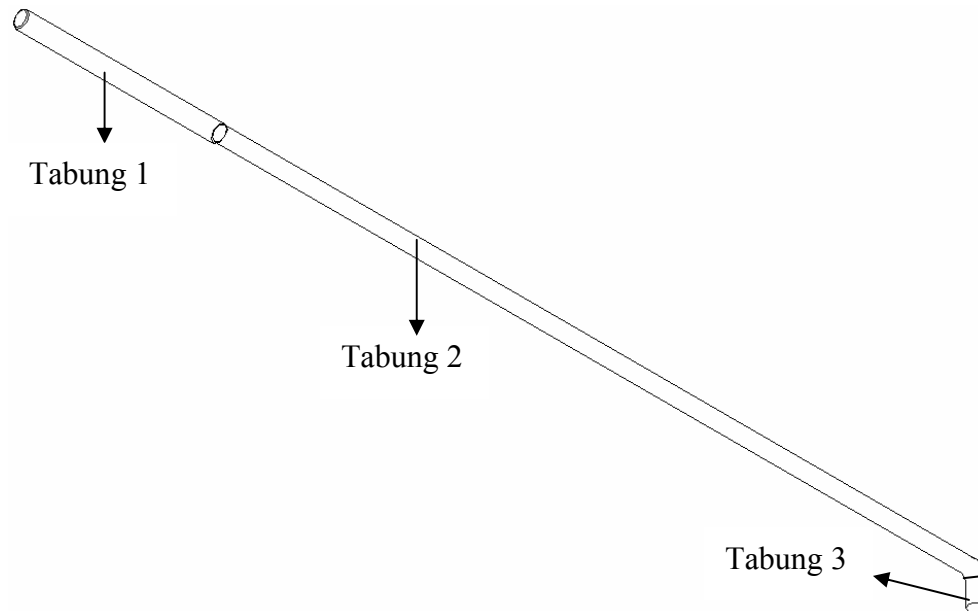


Gambar 4.15. Tuas pengungkit 2 bagian kedua

- Jadi volume plat siku = $(220000 - 160395) \text{ mm}^3 = 59605 \text{ mm}^3$

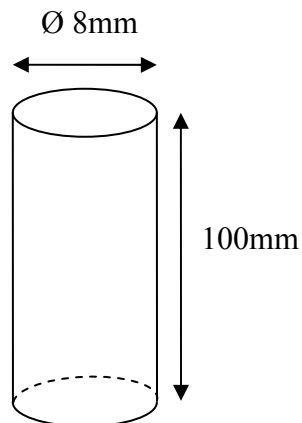
$$\begin{aligned} \text{Jadi Volume total tuas pengungkit 2} &= 84000 \text{ mm}^3 + 59605 \text{ mm}^3 \\ &= 143605 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

f. Penghubung tuas pengungkit 2 dengan pijakan kaki, terdiri dari 3 pipa pejal:



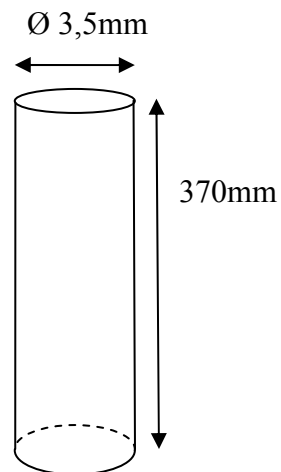
Gambar 4.16. Penghubung tuas pengungkit 2 dengan pijakan kaki

$$\begin{aligned} \text{- Volume pipa pejal 1} &= (3,14 \times 4\text{mm} \times 4\text{mm}) \times 100\text{mm} \\ &= 5024 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$



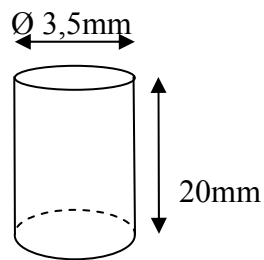
Gambar 4.17. Tabung 1

$$\begin{aligned} \text{- Volume pipa pejal 2} &= (3,14 \times 3,5\text{mm} \times 3,5\text{mm}) \times 370\text{mm} \\ &= 14232,05 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$



Gambar 4.18. Tabung 2

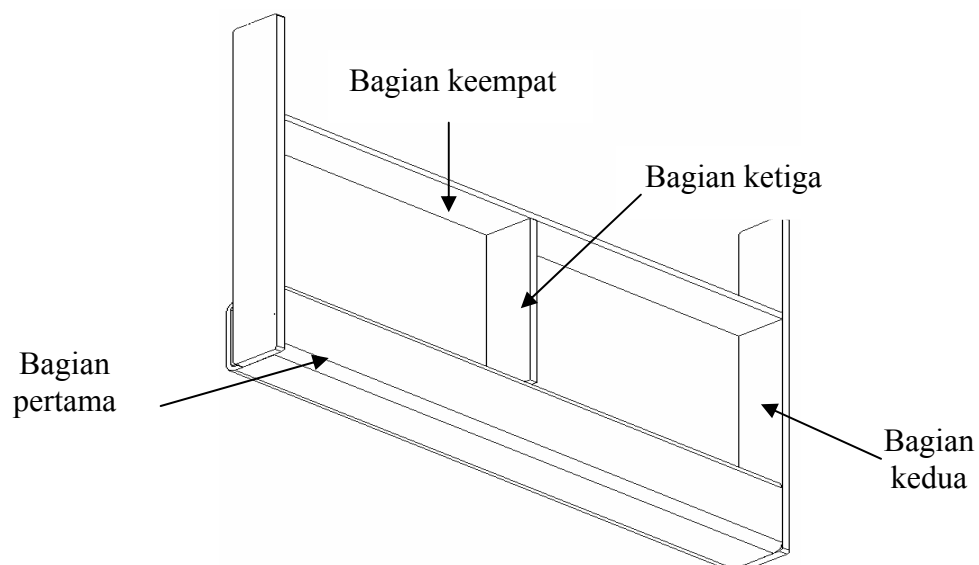
$$\begin{aligned} \text{- Volume pipa pejal 3} &= (3,14 \times 3,5\text{mm} \times 3,5\text{mm}) \times 20\text{mm} \\ &= 769,3 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$



Gambar 4.19. Tabung 3

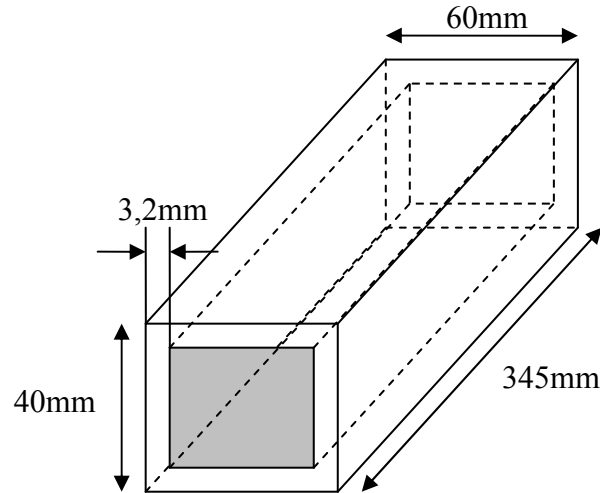
$$\text{- Jadi volume total} = 20025,35 \text{ m}^3$$

g. Pijakan kaki, terdiri 4 bagian yaitu :



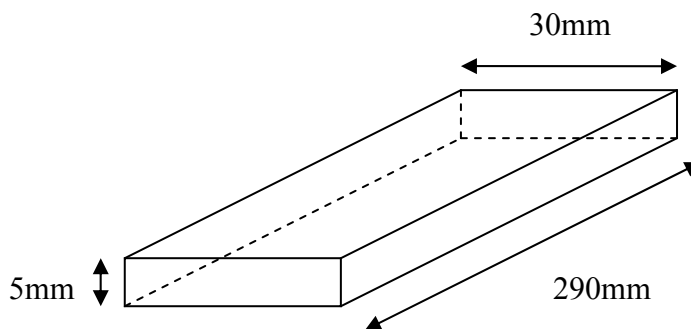
Gambar 4.20. Pijakan kaki

1. Bagian pertama yang berbentuk balok berongga, dengan bagian tengah yang berlubang. Jadi untuk menghitung volumenya, yaitu dengan pengurangan volume total balok dengan volume bagian yang akan dibuang.



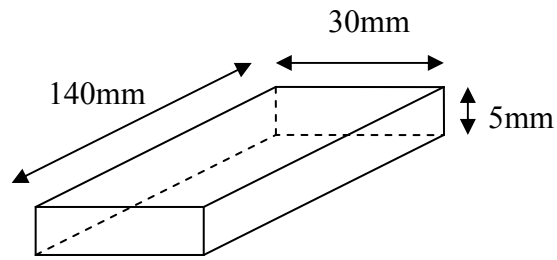
Gambar 4.21. Pijakan kaki bagian pertama

- Volume total balok = $(345 \times 40 \times 60) \text{ mm}^3 = 828000 \text{ mm}^3$
 - Volume bagian yang akan dibuang = $(33,6 \times 53,6 \times 345) \text{ mm}^3$
 $= 621331 \text{ mm}^3$
 - Jadi volume bagian pertama = $(828000 - 621331) \text{ mm}^3 = 206669 \text{ mm}^3$
2. Bagian kedua berbentuk plat balok berjumlah 2 buah. Maka volumenya = $2 \times (290 \times 30 \times 5) \text{ mm}^3$
 $= 87000 \text{ mm}^3$



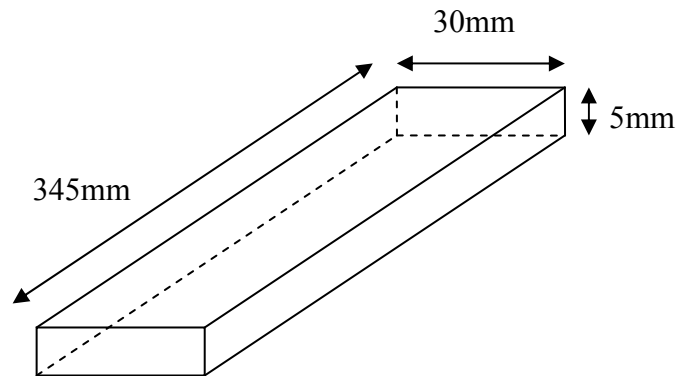
Gambar 4.22. Pijakan kaki bagian kedua

3. Bagian ketiga berbentuk plat balok. Maka volumenya adalah $(140 \times 30 \times 5) \text{ mm}^3 = 21000 \text{ mm}^3$



Gambar 4.23. Pijakan kaki bagian ketiga

4. Bagian keempat berbentuk plat balok. Maka volumenya adalah
 $= (345 \times 30 \times 5) \text{ mm}^3$
 $= 51750 \text{ mm}^3$

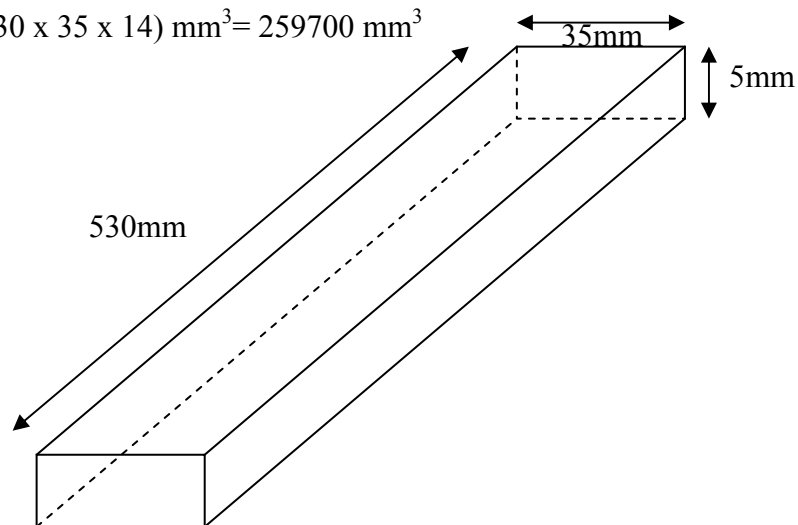


Gambar 4.24. Pijakan kaki bagian keempat

Jadi volume total pijakan kaki = 366419 mm^3

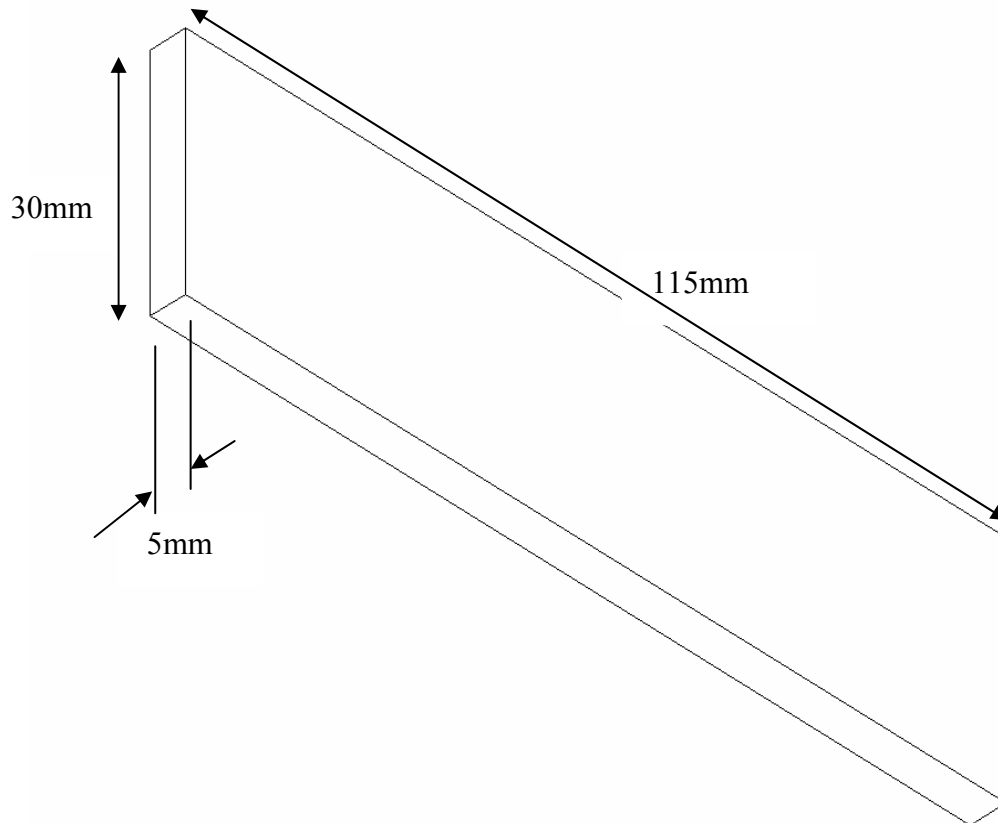
h. Plat dudukan landasan atas, terdiri dari 2 bagian yaitu :

1. Bagian pertama berbentuk plat balok, maka volumenya adalah
 $= (530 \times 35 \times 14) \text{ mm}^3 = 259700 \text{ mm}^3$



Gambar 4.25. Plat dudukan landasan atas bagian pertama

2. Bagian kedua berbentuk plat balok dengan jumlah 2 plat, maka volumenya = $2 \times (115 \times 30 \times 5) \text{ mm}^3 = 34500 \text{ mm}^3$



Gambar 4.26. Plat dudukan landasan atas bagian kedua

Jadi volume plat dudukan landasan atas = 294200 mm^3

Jadi Volume total bagian *plastic tray machine* yang terdiri dari assembly 1, assembly 2, pijakan kaki (nomor g), pipa pejal (nomor f), dan tuas pengungkit 2 (nomor e), dengan nilai = $92000 \text{ mm}^3 + 12000 \text{ mm}^3 + 496972,4 \text{ mm}^3 + 76255 \text{ mm}^3 + 143605 \text{ mm}^3 + 20025,35 \text{ mm}^3 + 366419 \text{ mm}^3 + 294200 \text{ mm}^3 = 1481476,75 \text{ mm}^3$.

Massa daripada *plastic tray machine* yang berhubungan dengan kerja pegas dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$m = \rho \cdot V$$

Dimana : $V = \text{Volume benda (mm}^3\text{)}$

$m = \text{massa benda (kg)}$

ρ = massa jenis benda (kg/mm^3)

Sehingga massa dari mesin ini adalah :

$$m = 7,861 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \cdot 1481476,75 \text{mm}^3$$

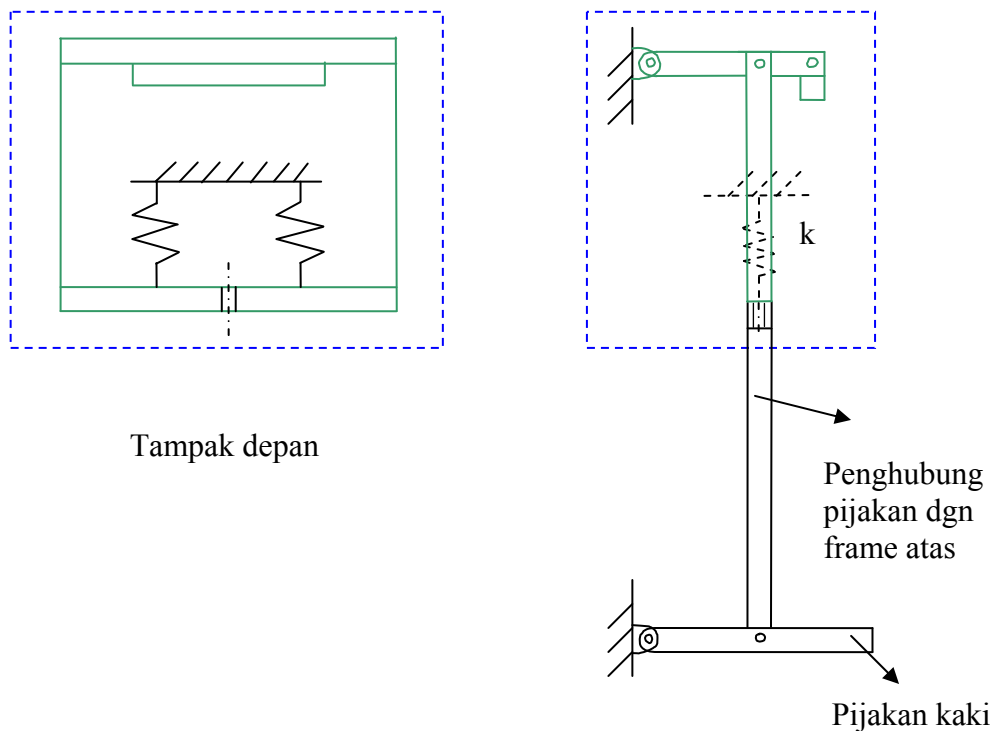
$$m = 11,4 \text{kg}$$

Setelah diketahui massa dari mesin, dapat dihitung pula berat daripada mesin ini. Maka berat daripada bagian – bagian mesin yang berhubungan dengan pegas adalah :

$$W = m \cdot g$$

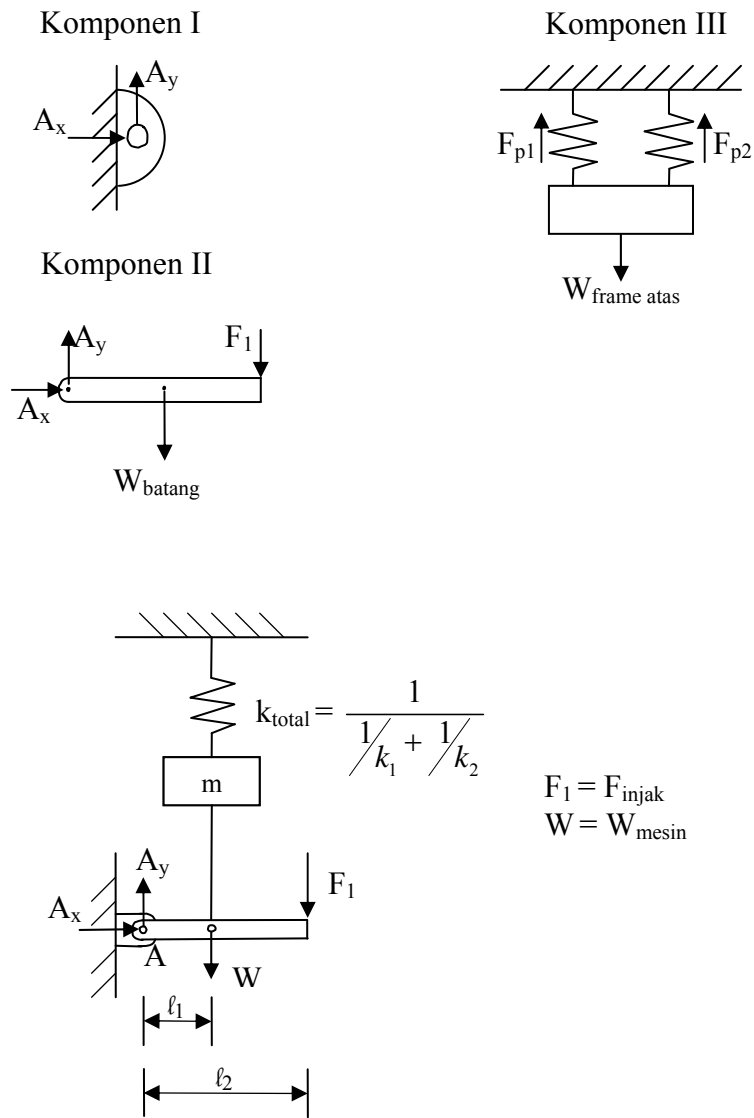
$$W = 11,4 \text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 111,5 \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 111,5 \text{N}$$



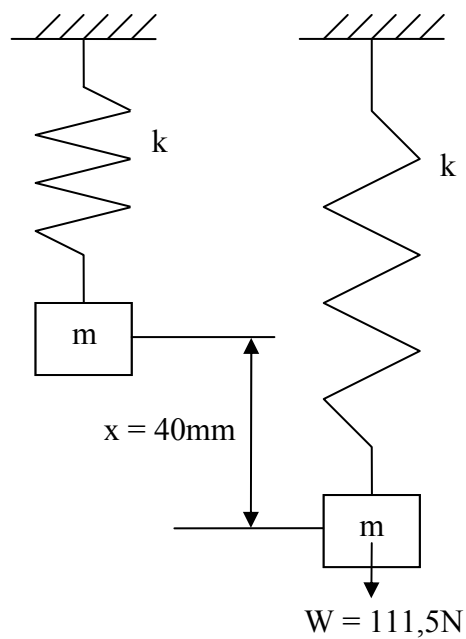
Gambar 4.27. Mekanisme dengan pegas tarik

Penguraian gaya – gaya yang terjadi dari gambar 4.27 :



Gambar 4.28. *Free Body Diagram*

Dimana untuk menentukan F_1 harus ditentukan terlebih dahulu konstanta pegas (k). Berdasarkan gambar 4.28. dapat dilihat, bahwa pegas tersebut berhubungan dengan massa (m) yang merupakan massa total dari mesin yang berhubungan dengan pegas. Maka konstanta pegasnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.3) :



Harga k disini adalah k total dari k_1 dan k_2 yang disusun paralel. Dimana k_1 dan k_2 ini mempunyai nilai yang sama besarnya, karena k_1 dan k_2 ini menerima gaya berat yang sama dengan arah ke bawah, dan kedua pegas ini juga dibuat dengan bahan yang sama pula.

Gambar 4.29. Pegas sebelum dan sesudah menerima gaya berat yang arahnya ke bawah

Maka dari gambar 4.29 di atas dapat dihitung nilai k :

$$W = k \cdot x$$

$$k = \frac{W}{x}$$

$$k = \frac{111,5N}{40mm}$$

$$k = 2,78 \frac{N}{mm}$$

Harga k diatas adalah k total. Maka nilai dari k_1 dan k_2 yang disusun paralel, dan dimana nilai masing – masing k_1 dan k_2 tersebut sama, adalah :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}}$$

$$k_1 = k_2$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_1}}$$

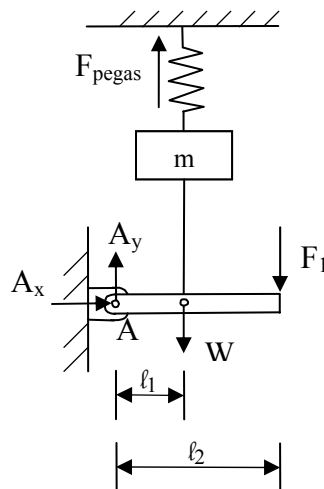
$$k = \frac{1}{\frac{2}{k_1}} = \frac{k_1}{2}$$

$$2,78 \frac{N}{mm} = \frac{k_1}{2}$$

$$k_1 = 5,56 \frac{N}{mm}$$

$$k_2 = k_1 = 5,56 \frac{N}{mm}$$

Dari gambar 4.29. juga dapat dihitung besarnya F_1 , dengan menggunakan momen pada titik A = 0 :



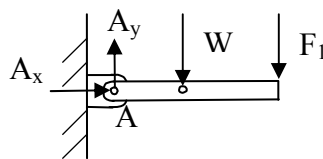
Gambar 4.30. *Free Body Diagram*

F_{pegas} di atas merupakan gaya aksi ke atas dari beban W dan F_1 . F_{pegas} tersebut terdiri dari 2 gaya, yaitu F oleh pegas 1 dan pegas 2, karena adanya gaya injak (F_1), maka pegas bertambah panjang 50 mm. Jarak dari F_1 menuju titik A dinyatakan dengan l_2 . Jarak dari W dan F_{pegas} , menuju titik A dinyatakan dengan l_1 . Maka untuk mencari besar F_1 , dapat digunakan rumus momen pada titik A, yaitu :

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ 0 &= F_1 \cdot l_2 + W \cdot l_1 - F_{\text{pegas}} \cdot l_1 \\ 0 &= F_1 \cdot 290\text{mm} + 111,5\text{N} \cdot 138,5\text{mm} - \left[(k_1 \cdot x) \cdot 138,5\text{mm} + (k_2 \cdot x) \cdot 138,5\text{mm} \right] \\ 0 &= F_1 \cdot 290\text{mm} + 15442,75\text{N} \cdot \text{mm} - \left[2 \cdot 138,5\text{mm} \cdot \left(5,56 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 50\text{mm} \right) \right] \\ 0 &= F_1 \cdot 290\text{mm} + 15442,75\text{N} \cdot \text{mm} - 77006\text{N} \cdot \text{mm} \\ -F_1 &= \frac{15442,75\text{N} \cdot \text{mm} - 92407,2\text{N} \cdot \text{mm}}{290\text{mm}} \\ -F_1 &= \frac{-61563,25\text{N} \cdot \text{mm}}{290\text{mm}} \\ F_1 &= 212,28\text{N} \end{aligned}$$

4.2. Perhitungan Diameter baut

Pada *plastic tray machine* ini, baut digunakan sebagai engsel, di simbolkan dengan huruf A, dapat dilihat pada gambar 4.26.



$$\begin{aligned} F_1 &= \text{Gaya pijakan kaki} \\ &= 212,28\text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= \text{Gaya berat total} \\ &\quad \text{mesin yang} \\ &\quad \text{berhubungan} \\ &\quad \text{dengan pegas} \\ &= 111,5\text{ N} \end{aligned}$$

Gambar 4.31. *free body diagram* gaya – gaya yang terjadi pada baut

Untuk menentukan diameter baut, harus ditentukan terlebih dahulu gaya di A. Sebelum ditentukan gaya di A, maka harus dihitung terlebih dahulu Ax dan Ay. Besar Ax ditentukan dengan menghitung jumlah komponen horisontal dari semua gaya – gaya luar yang harus sama dengan 0 :

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ A_x &= 0 \end{aligned}$$

Pada bagian A tidak terdapat gaya Ax. Jadi hanya terdapat gaya Ay. Besar Ay ditentukan dengan menghitung jumlah komponen vertikal dari semua gaya – gaya luar yang harus sama dengan 0 juga :

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + F_1 + W - F_{pegas} = 0$$

$$A_y = F_{pegas} - F_1 - W$$

$$A_y = (k_{total} \cdot x) - F_1 - W$$

$$A_y = \left(2,78 \frac{N}{mm} \cdot 50mm \right) - 212,28N - 111,5N$$

$$A_y = 139N - 212,28N - 111,5N$$

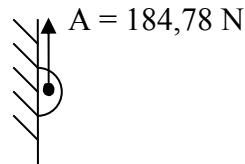
$$A_y = -184,78N$$

Dengan menjumlahkan komponen A_x dan A_y secara vektor, maka didapatkan besar gaya di A dan arahnya (dari gambar *free body diagram*, A_x dan A_y membentuk sudut 90°) :

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 - 2 \cdot A_x \cdot A_y \cdot \cos 90^\circ}$$

$$A = \sqrt{0^2 + (-184,78)^2 - 0}$$

$$A = 184,78N$$



$$\tan A = \frac{A_y}{A_x}$$

$$\text{Dengan arah : } \tan A = \frac{-184,78}{0}$$

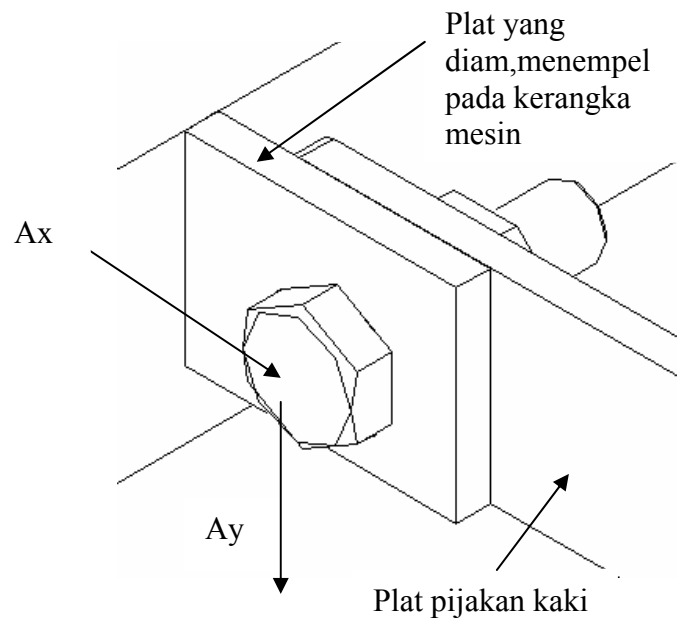
$$\tan A = \infty$$

$$A = 90^\circ$$

Gaya pada A di atas merupakan gaya pada engsel. Dengan diketahui gaya pada engsel, maka dapat ditentukan pula dimensi dari engsel pada titik A. Pada mesin ini digunakan baut sebagai engselnya. Maka dapat dicari diameter dari baut tersebut, dengan menggunakan rumus tegangan geser pada baut tersebut :

$$\tau \leq |\tau|$$

$$\frac{F}{\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2} \leq \frac{0,58\sigma}{N}$$



Gambar 4.32. Engsel dengan menggunakan baut

Pada gambar 4.32, baut tersebut terkena tegangan geser (τ). Dengan menggunakan rumus tegangan geser maka dapat ditentukan diameter minimum dari baut untuk dapat menahan gaya pada engsel tersebut. Kekuatan tarik (σ), ditentukan sendiri dengan mengambil dari tabel dengan bahan baja JIS B 1051. Sedang angka keamanan (N) diambil angka 2, karena angka ini cukup mewakili untuk beban yang statis.

$$\tau \leq |\tau|$$

$$\frac{F}{\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2} \leq \frac{0,58\sigma}{N}$$

$$\frac{184,78N}{\frac{3,14}{4} \cdot d_1^2} \leq \frac{0,58 \cdot 34 \frac{kg}{mm^2} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}}{2}$$

$$d_1^2 = \frac{2 \cdot 184,78N}{0,785 \cdot 193,3 \frac{N}{mm^2}}$$

$$d_1^2 = \frac{369,56}{151,7} mm^2$$

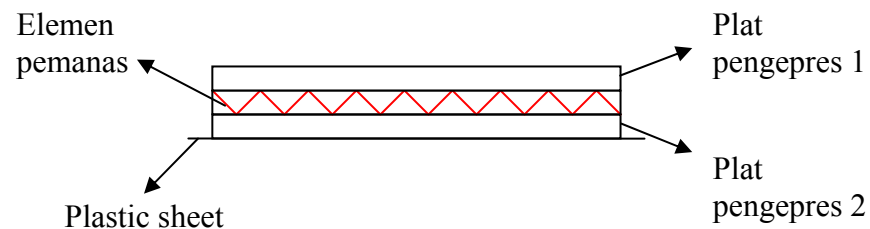
$$d_1 = \sqrt{2,44 mm^2}$$

$$d_1 = 1,56 mm$$

Untuk itu dipilih baut dengan diameter 10 mm.

4.3. Perhitungan Proses Pemanasan

Susunan proses pemanasan pada *plastic tray machine* ini ditunjukkan pada gambar 4.33 :



Gambar 4.33. Susunan proses pemanasan pada plastik

Dari gambar 4.33. tersebut, belum diketahui temperatur pada plat pengepres dan pada elemen pemanas. Sedang temperatur pada plastik PET yang merupakan *operating temperature* ini diambil pada tabel *thermal properties* dari PET, yaitu $110^{\circ}\text{C} = 383\text{ K}$ (*Plastic engineering 2nd edition*). Untuk menghitung laju kalor dari PET, perlu diketahui properti lain dari PET ini :

$$c \text{ (Specific Heat)} = 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Massa (m) PET:

- dimensi $0,1\text{m} \times 0,15\text{m} \times 0,0005\text{m}$, maka volume = $0,0000075\text{m}^3$
- massa jenis PET (ρ) = 1370 kg/m^3
- maka $m = 1370 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,0000075\text{m}^3 = 0,0102\text{kg} = 10\text{g}$

$$T_2 = T \text{ udara sekitar} = 31^{\circ}\text{C} = 304\text{ K}$$

Maka besar kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan PET adalah :

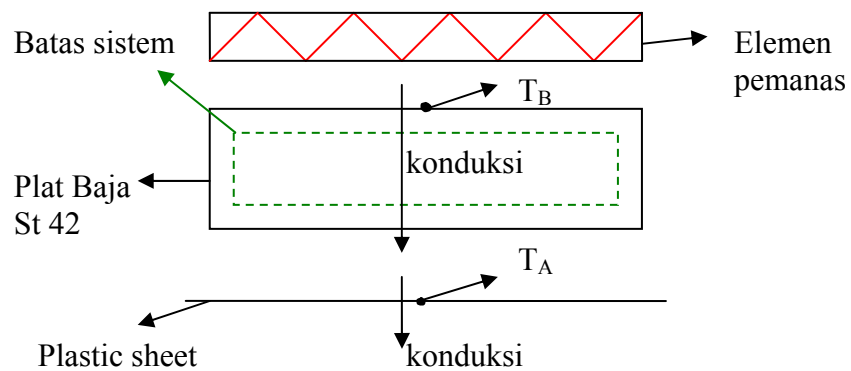
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 0,01\text{kg} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (383\text{K} - 304\text{K})$$

$$Q = 10 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 79\text{K}$$

$$Q = 790\text{J}$$

Setelah menentukan kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan PET ini, maka dapat ditentukan temperatur dari elemen pemanas. Sebelum menghitung temperaturnya, digambar terlebih dahulu laju aliran kalornya :



Gambar 4.34. Laju aliran kalor

Pada gambar 4.34, terjadi perpindahan panas secara konduksi yang melewati plastik dan plat baja tersebut. Untuk menghitung T_A dapat digunakan rumus konduksi. Sebelum dihitung temperatur, terlebih dahulu ditentukan properti dari plastik dan plat baja St 42 tersebut :

a. Properti dari PET :

- luasan yang terkena konduksi (A) = $0,15m \cdot 0,1m = 0,015m^2$

- konduktivitas thermal (k) = $0,24 \frac{W}{m \cdot K}$

- tebal (Δx) = $0,0005$ m

b. Properti dari plat baja St 42 :

- luasan yang terkena konduksi (A) = $0,15m \cdot 0,1m = 0,015m^2$

- konduktivitas thermal (k) = $65,2 \frac{W}{m \cdot K}$

- tebal (Δx) = $0,005$ m

c. Temperatur pada elemen pemanas (T_B) sebesar $152,9^\circ C$, diukur menggunakan infrared thermometer.

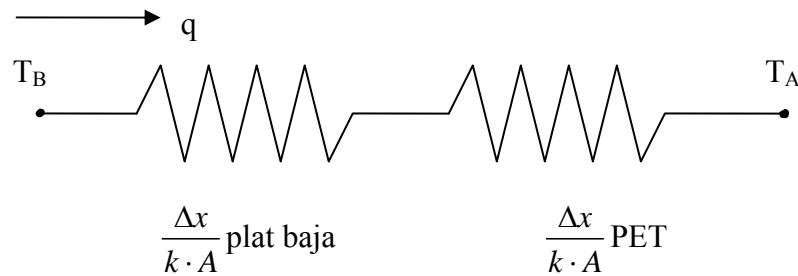
Jika besar kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan PET (Q) = 790 J, dengan lama pemanasan (t) = 3 s, maka daya yang dibutuhkan untuk memanaskan PET (q) tersebut adalah :

$$q(\text{watt}) = \frac{Q}{t}$$

$$q = \frac{790J}{3s}$$

$$q = 263,33\text{watt}$$

Maka dengan properti di atas dapat dihitung T_A , dengan menggunakan rumus konduksi yang diterapkan pada resistansi thermal :



Gambar 4.35. Laju perpindahan panas dari pemanas ke plastik

Maka dengan menggunakan resistansi thermal secara konduksi dapat ditentukan besarnya T_A :

$$q = \frac{T_B - T_A}{\left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right)_{\text{plat}} + \left(\frac{\Delta x}{k \cdot A}\right)_{\text{PET}}}$$

$$263,33W = \frac{(152,9 + 273)K - T_A(K)}{\frac{0,005m}{65,2 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 0,015m^2} + \frac{0,0005m}{0,24 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 0,015m^2}}$$

$$263,33W = \frac{425,9K - T_A(K)}{0,0051 \frac{K}{W} + 0,14 \frac{K}{W}}$$

$$263,33W = \frac{425,9K - T_A(K)}{0,1451 \frac{K}{W}}$$

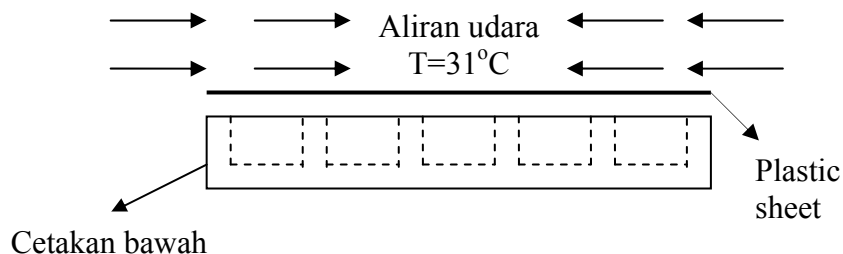
$$T_A(K) = 425,9K - 38,2K$$

$$T_A = 387,7K = 114,7^\circ C$$

Jadi temperatur pada PET pada waktu pemanasan adalah $114,7^\circ C$. Kelebihan temperatur $4,7^\circ C$, dari temperatur operasi yang diinginkan yaitu $110^\circ C$, dapat diatasi dengan mengubah tebal plat baja menjadi 2 cm atau dengan mengubah bahan plat dengan titanium ($k = 21,9 \text{ W/mK}$).

4.4. Perhitungan Proses Pendinginan

Susunan proses pendinginan pada *plastic tray machine* ini ditunjukkan pada gambar 4.36 :



Gambar 4.36. proses pendinginan dengan konveksi alami

Proses pendinginan pada gambar 4.36. menggunakan metode konveksi alami. Konveksi alami ini menggunakan media udara sekitar dengan suhu $T=31^{\circ}\text{C}$. Maka perlu dihitung terlebih dahulu laju pendinginan dengan konveksi alami tersebut :

- untuk menghitung Q konveksi perlu dihitung terlebih dahulu koefisien konveksi (h), dengan menggunakan *Grashof number* (Gr):

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot l^3}{\nu^2}$$

Keterangan :

g = gaya gravitasi bumi = $9,8 \text{ m/s}^2$

β = koefisien muai volume = $1/T_f$

dimana T_f = suhu absolut gas = $\frac{T_1 + T_2}{2}$

ΔT = selisih temperatur (K)

l = *characteristic length* = A/p

dimana A adalah luasan benda yang terkena konveksi, dan p (perimeter) adalah keliling benda yang terkena konveksi.

ν = viskositas (m^2/s), didapat dari interpolasi tabel sifat – sifat udara pada tekanan atmosfer. (Perpindahan Kalor, J.P. Holman)

Maka *Grashof number* dapat dicari :

$$*T_f = \frac{T_{pemanasan} + T_{\infty}}{2} = \frac{(114,7 + 273)^{\circ}K + (31 + 273)^{\circ}K}{2} = 345,8K$$

$$*\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{345,8K} = 0,0029 / K$$

$$*\Delta T = (114,7 + 273) K - (31 + 273) K = 83,7 K$$

$$*l = \frac{A_{PET}}{p_{PET}} = \frac{0,15m \cdot 0,1m}{2(0,15m + 0,1m)} = 0,03m$$

$$*\nu = 20,3 \cdot 10^{-6} m^2/s$$

$$\therefore Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot l^3}{\nu^2}$$

$$Gr = \frac{9,8 \cdot 0,0029 \cdot 83,7 \cdot (0,03)^3}{(20,3 \cdot 10^{-6})^2}$$

$$Gr = 1,55 \cdot 10^5$$

- Setelah menghitung *grashof number*, maka ditentukan terlebih dahulu *rayleigh number*(Ra), dengan rumus :

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

Pr = *prandtl number* (dari hasil interpolasi tabel sifat – sifat udara pada tekanan atmosfer).

Maka Ra dapat dicari :

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

$$Ra = 1,55 \cdot 10^5 \cdot 0,698$$

$$Ra = 1,08 \cdot 10^5$$

- Setelah Ra diketahui, maka koefisien konveksi (h) dapat ditentukan, dengan rumus :

$$h = \frac{k}{l} \cdot Nu$$

Keterangan :

k = konduktivitas thermal (W/m.°C), didapat dari hasil interpolasi tabel sifat – sifat udara pada tekanan atmosfer.

l = *characteristic length*

$Nu = Nusselt\ number$. Angka Nu ditentukan dari besarnya Ra .

Untuk $Ra = 1,08 \cdot 10^5$, maka $Nu = 0,13 \cdot (Ra)^{1/3}$

(Perpindahan Kalor, J.P. Holman)

$$h = \frac{k}{l} \cdot Nu$$

$$h = \frac{0,029}{0,03} \cdot 0,13 \cdot (Ra)^{1/3}$$

$$h = 0,96 \cdot 0,13 \cdot (1,5 \cdot 10^5)^{1/3}$$

$$h = 0,96 \cdot 0,13 \cdot 53,14$$

$$h = 6,6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Maka Q akibat konveksi adalah :

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

$$Q = 6,6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 0,015 m^2 \cdot (114,7^\circ C - 31^\circ C)$$

$$Q = 6,6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 0,015 m^2 \cdot 83,7^\circ C$$

$$Q = 8,28 W$$

Karena lama proses pendinginan selama 4 detik, maka
 $Q = 4 \cdot 8,28 W = 33,12 W$ Maka Q total adalah :

$$Q_{total} = Q_{pemanasan} - Q_{konveksi}$$

$$Q_{total} = 263,33 W - 33,12 W$$

$$Q_{total} = 230,21 W$$

Dari Q total ini dapat dihitung temperatur plastik, setelah diangkat dari cetakan dengan kondisi yang baik (T_{akhir}):

$$Q_{total} = \frac{k_{PET} \cdot A_{PET} \cdot \Delta T}{x_{PET}}$$

$$230,21W = \frac{0,24 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \cdot 0,015m^2 \cdot (114,7^\circ C - T_{akhir})}{0,0005m}$$

$$0,115W \cdot m = 3,6 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \cdot (114,7^\circ C - T_{akhir})$$

$$\frac{0,115W \cdot m}{3,6 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} = 114,7^\circ C - T_{akhir}$$

$$31,94^\circ C = 114,7^\circ C - T_{akhir}$$

$$T_{akhir} = 82,76^\circ C$$

Jadi temperatur PET setelah diangkat dari cetakan adalah $39,58^\circ C$.

4.5. Perhitungan Tekanan Vacuum

Untuk mengukur seberapa besar tekanan *vacuum* yang dibutuhkan untuk dapat menghisap plastik, sehingga plastik tersebut dapat terbentuk sesuai cetakan, maka gaya untuk *vacuum* harus lebih besar daripada gaya berat dari plastik tersebut ($F_{hisap} > W_{PET}$).

Pada bab 4.2. telah diketahui massa dari 1 lembar PET dengan ukuran 15mm x 10mm x 0,5mm, adalah 10 g = 0,01 kg. Maka berat dari PET tersebut adalah :

$$W = m \cdot g$$

$$W = 0,01kg \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$W = 0,098kg \cdot \frac{m}{s^2} = 0,098N$$

Maka besar tekanan *vacuum* yang dibutuhkan adalah :

$$P_{vacuum} = \frac{F_{vacuum}}{A_{PET}}$$

$$P_{vacuum} = \frac{0,098N}{15mm \cdot 10mm}$$

$$P_{vacuum} = \frac{0,098N}{0,015m \cdot 0,01m}$$

$$P_{vacuum} = \frac{0,098N}{1,5 \cdot 10^{-4} m^2}$$

$$P_{vacuum} = 653,33 \frac{N}{m^2}$$

$$\text{Jika } 1atm = 1,013 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} = 760mmHg$$

Maka tekanan yang dibutuhkan untuk menghisap (mmHg) selama 1 s, adalah :

$$P_{vacuum} = 653,33 \frac{N}{m^2} = 0,0064atm = 4,864mmHg$$

Karena waktu yang dibutuhkan untuk menghisap adalah 3 s, maka :

$$P_{vacuum} = 3 \cdot 4,864mmHg = 14,592mmHg$$

Jadi besar tekanan *vacuum* yang dibutuhkan harus lebih besar dari 14,592 mmHg dan daya kompresor yang dibutuhkan untuk proses *vacuum* ini sebesar $\frac{1}{4}$ HP = 186,43 watt. (lampiran 8).

4.6. Perhitungan Dimensi Fungsional

Untuk merancang sebuah mekanisme, perlu dihitung terlebih dahulu dimensi – dimensi fungsionalnya. Dimensi fungsional yang dimaksud di sini adalah menghitung tebal minimum dari plat – plat baja yang digunakan, agar kuat dalam menjalankan mekanismenya. Dalam konstruksi *plastic tray machine* ini digunakan plat baja St 37.

Pada *plastic tray machine* ini, bagian – bagian penting yang menjadi tumpuan – tumpuan pada mekanismenya adalah :



Gambar 4.37. Bagian – bagian yang fungsional

1. Plat dudukan landasan atas dengan bahan St 37.
2. Penghubung tuas pengungkit 2 dengan pijakan kaki dengan bahan st 37.
3. Tuas Pengungkit 1 dengan bahan St 37.
4. Pijakan kaki dengan bahan St 37.

Dari keempat bagian di atas perlu dihitung dimensi – dimensinya. Yang dimaksud dimensi disini adalah ketebalannya. Jadi perlu dihitung ketebalan masing – masing komponen fungsional, sebelum dibuat alat ini.

1. Plat dudukan landasan atas dengan bahan St 37

Sebelum dilakukan perhitungan tebal plat, maka perlu dicari dulu gaya-gaya yang membebani plat tersebut. Pada plat dudukan landasan atas ini terkena 2 gaya, F_1 dan W , serta terjadi lendutan $y = \frac{1}{2} h$, sehingga terjadi tegangan bending (σ_b). Penguraian gaya - gaya pada plat ini yaitu :

- a. Gaya berat (W) plat itu sendiri :

Pada gambar 4.26. telah diketahui volume plat dudukan landasan atas ini adalah 34500 mm^3 . Maka langkah – langkah untuk menghitung W, yaitu :

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 7,861 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \cdot 34500 \text{mm}^3$$

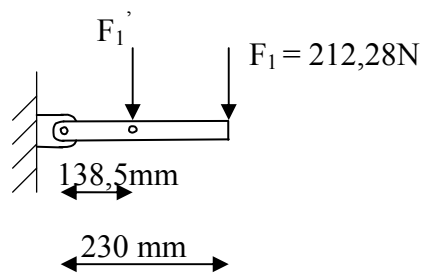
$$m = 0,27 \text{kg}$$

Maka :

$$W = m \cdot g$$

$$W = 0,27 \text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2,65 \text{N}$$

- b. Gaya pijakan kaki pada pusat (F_1')



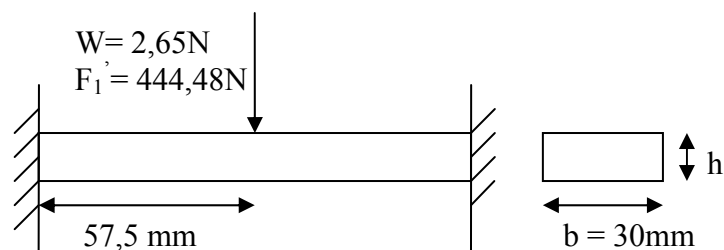
F_1' dapat dicari dengan cara :

$$F_1 \cdot 290 \text{mm} = F_1' \cdot 138,5 \text{mm}$$

$$212,28 \cdot 290 \text{mm} = F_1' \cdot 138,5 \text{mm}$$

$$F_1' = \frac{212,28 \text{N} \cdot 290 \text{mm}}{138,5 \text{mm}}$$

$$F_1' = 444,48 \text{N}$$



Gambar 4.38. Gaya – gaya yang terjadi pada plat dudukan landasan atas

Maka tebal minimum plat dapat dicari, yaitu :

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\frac{Syp}{N} = \frac{W \cdot l + F_1' \cdot l}{\frac{I_x}{y}}$$

$$\frac{370 \frac{N}{mm^2}}{2} = \frac{2,65N \cdot 57,5mm + 444,48N \cdot 57,5mm}{\frac{bh^3}{12} \cdot \frac{1}{2}h}$$

$$185 \frac{N}{mm^2} = \frac{149,5Nmm + 22557,6Nmm}{\frac{30h^3}{12} \cdot \frac{2}{h}}$$

$$185 \frac{N}{mm^2} = \frac{22707,1Nmm}{5mm \cdot h^2}$$

$$h^2 \cdot 925 \frac{N}{mm} = 22707,1Nmm$$

$$h^2 = 24,54mm^2$$

$$h = 4,95mm$$

Jadi dipilih plat dengan tebal = 5mm.

2. Penghubung tuas pengungkit 2 dengan pijakan kaki dengan bahan st 37

Sebelum dilakukan perhitungan tebal plat, maka perlu dicari dulu gaya-gaya yang membebani plat tersebut. Pada pipa pejal ini terkena 2 gaya, F_1' dan W , sehingga terjadi tegangan tekan (σ_{tekan}). Penguraian gaya-gaya pada pipa pejal ini yaitu :

a. Gaya berat (W) pipa pejal dan beban kerangka bagian atas :

Pada bab 4.1. telah diketahui volume pipa pejal dan kerangka bagian atas(tanpa pijakan kaki) adalah $1135057,75 \text{ mm}^3$. Maka langkah – langkah untuk menghitung W , yaitu :

$$m = \rho \cdot V$$

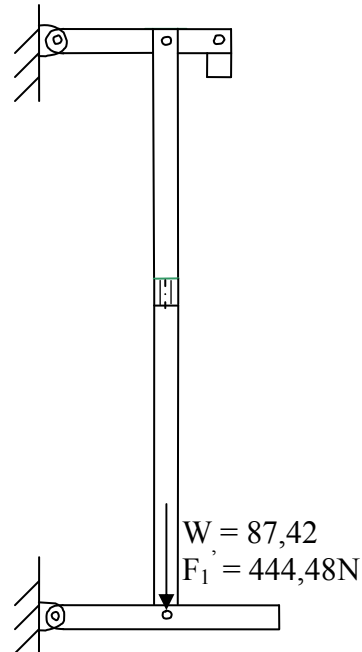
$$m = 7,861 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{mm^3} \cdot 1135057,75mm^3$$

$$m = 8,92kg$$

$$W = m \cdot g$$

$$W = 8,92 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 87,42 \text{ N}$$

b. Gaya pijakan kaki pada pusat (F_1') = 444,48 N



Gambar 4.39. Gaya – gaya yang terjadi pada pipa pejal

Maka diameter minimum pipa pejal dapat dicari, yaitu :

$$\sigma_{tekan} = \frac{F}{A}$$

$$\frac{Syp}{N} = \frac{W + F_1'}{A}$$

$$\frac{370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2} = \frac{87,42 \text{ N} + 444,48 \text{ N}}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot d^2}$$

$$185 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \frac{531,9 \text{ N}}{0,785 \cdot d^2}$$

$$d^2 \cdot 145,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 531,9 \text{ N}$$

$$d^2 = 3,66 \text{ mm}^2$$

$$d = 1,91 \text{ mm}$$

Namun pada pembuatannya, dipilih diameter pipa pejal 8 mm, yang disesuaikan dengan beberapa bahan sisa yang sudah ada.

3. Tuas Pengungkit 1 dengan bahan St 37

Sebelum dilakukan perhitungan tebal plat, maka perlu dicari dulu gaya-gaya yang membebani plat tersebut. Pada plat tuas pengungkit 1 ini terkena 2 gaya, F_1' dan W , serta terjadi lendutan $y = \frac{1}{2} h$, sehingga terjadi tegangan bending (σ_b). Penguraian gaya - gaya pada plat ini yaitu :

- a. Pada gambar 4.7. telah diketahui volume plat dudukan landasan atas ini adalah 92000 mm^3 . Maka langkah - langkah untuk menghitung W , yaitu :

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 7,861 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \cdot 92000 \text{mm}^3$$

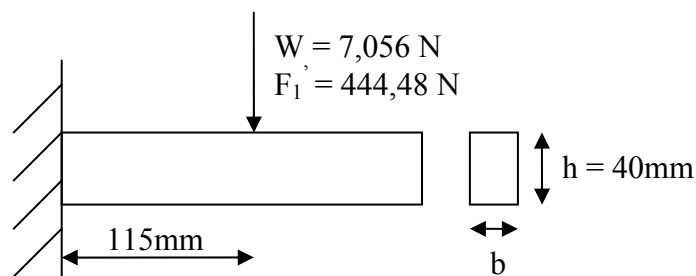
$$m = 0,72 \text{kg}$$

Maka :

$$W = m \cdot g$$

$$W = 0,72 \text{kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7,056 \text{N}$$

- b. Gaya pijakan kaki pada pusat (F_1') = 444,48 N



Gambar 4.40. Gaya - gaya yang terjadi pada plat tuas pengungkit 1

Maka tebal minimum plat dapat dicari, yaitu :

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\frac{Syp}{N} = \frac{W \cdot l + F_1' \cdot l}{\frac{I_x}{y}}$$

$$\frac{370 \frac{N}{mm^2}}{2} = \frac{7,056N \cdot 115mm + 444,48N \cdot 115mm}{\frac{bh^3}{12} \cdot \frac{1}{2}h}$$

$$185 \frac{N}{mm^2} = \frac{811,4Nmm + 51115,2Nmm}{\frac{b \cdot 40^3}{12} \cdot \frac{2}{40}}$$

$$b \cdot 266,67mm^2 \cdot 185 \frac{N}{mm^2} = 51926,6Nmm$$

$$b \cdot 49333,3N = 51926,6Nmm$$

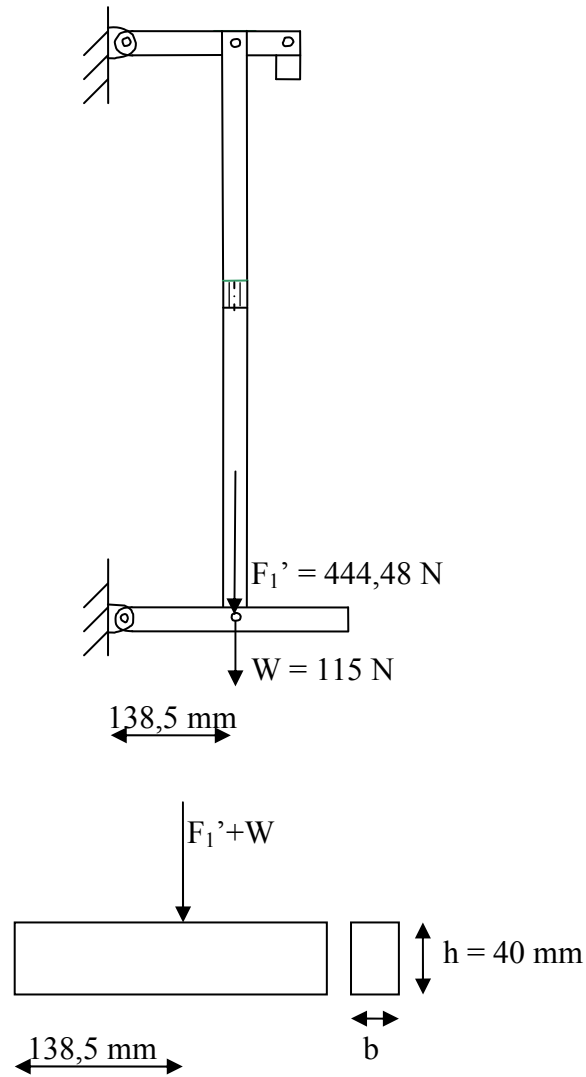
$$b = 1,052mm$$

Namun plat yang dipilih tebalnya 5mm, karena disamakan dengan plat di bagian dudukan landasan atas.

4. Pijakan kaki dengan bahan St 37

Sebelum dilakukan perhitungan tebal plat, maka perlu dicari dulu gaya-gaya yang membebani plat tersebut. Pada plat pijakan kaki ini terkena 2 gaya, F_1' dan W , serta terjadi lendutan $y = \frac{1}{2}h$, sehingga terjadi tegangan bending (σ_b). Penguraian gaya - gaya pada plat ini yaitu :

- a. Untuk menghitung gaya berat (W) yang membebani pijakan kaki, perlu dilihat pada gambar 4.4. Gaya berat pada pijakan kaki ini adalah berat total dari keseluruhan komponen yang berhubungan dengan kerja pegas (nomor a-h). Dalam perhitungan pada halaman 53, telah diketahui gaya berat total adalah 111,5 N.
- b. Gaya pijakan kaki pada pusat (F_1') = 444,48 N



Gambar 4.41. Gaya – gaya yang terjadi pada pijakan kaki

Maka tebal minimum plat dapat dicari, yaitu :

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$\frac{Syp}{N} = \frac{W \cdot l + F_1' \cdot l}{\frac{I_x}{y}}$$

$$\frac{370 \frac{N}{mm^2}}{2} = \frac{111,5N \cdot 138,5mm + 444,48N \cdot 138,5mm}{\frac{bh^3}{12} \cdot \frac{1}{2}h}$$

$$185 \frac{N}{mm^2} = \frac{15442,75Nmm + 61560,48Nmm}{\frac{b \cdot 30^3}{12} \cdot \frac{2}{30}}$$

$$b \cdot 150mm^2 \cdot 185 \frac{N}{mm^2} = 77003,23Nmm$$

$$b \cdot 27750N = 77003,23Nmm$$

$$b = 2,7mm$$

Namun plat yang dipilih tebalnya 5mm, karena disamakan dengan plat di bagian dudukan landasan atas.