

# PERANCANGAN REVERSE VENDING MACHINE KHUSUS BOTOL KALENG DAN PLASTIK YANG DAPAT DITERAPKAN DI INDONESIA

Bustami Ibrahim<sup>1</sup>, Ahmad Rifa R.F<sup>2</sup>

(1) Dosen Jur. Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Jl. Kanayakan 21 Bandung 40135,  
email: [bustami@polman-bandung.ac.id](mailto:bustami@polman-bandung.ac.id)

(2) Mahasiswa D4 Polman Jur. Teknik Rekayasa dan Pengembangan Produk  
email: [ahmadrifa5@yahoo.com](mailto:ahmadrifa5@yahoo.com)

## Abstrak

Permasalahan mengenai sampah merupakan masalah yang cukup berkepanjangan untuk diselesaikan, khususnya di Indonesia. Masalah utamanya yaitu kurangnya kesadaran dari masyarakat untuk mau membuang sampah pada tempatnya dan kurang baik dalam pengelolaannya. Oleh karena itu CV. Jatayu Jaya Abadi ingin membuat suatu mesin yang dapat digunakan untuk mengolah sampah botol kaleng dan botol plastik yang dapat memberikan *feedback* langsung terhadap masyarakat, sehingga diharapkan timbul keinginan untuk membuang sampah pada tempatnya. Mesin yang dirancang ini dinamakan *Reverse Vending Machine*. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menghasilkan draft rancangan *reverse vending machine* yang dapat diterapkan di Indonesia dengan budget maksimal Rp. 35.000.000,-.

Metode perancangan yang digunakan adalah metode VDI 2222. Cara merancang ini dibuat oleh Persatuan Insinyur Jerman (*Verein Deutscher Ingenieure*) berisi pendekatan sistematik untuk mengkonsep produk teknis. Metoda ini terdiri dari empat fase yaitu analisis, pembuatan konsep, merancang dan penyelesaian. Untuk memastikan rancangan mesin tersebut dapat berjalan dengan baik maka dilakukan perhitungan kekuatan dan kemampuan mesin. Kemudian perhitungan tersebut akan disimulasikan dengan *software* agar kekuatan dan kemampuan mesin dapat tervalidasi dengan benar.

Dari hasil perancangan yang telah dilaksanakan diperoleh kesimpulan *reverse vending machine* yang telah dirancang dapat diaplikasikan di Indonesia dan memiliki harga dibawah budget yang ditentukan.

**Kata kunci:** Sampah, *reverse vending machine*, botol plastik, botol kaleng, VDI 2222.

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan masalah yang cukup berkepanjangan untuk diselesaikan, khususnya di Indonesia. Sampah terbagi menjadi tiga jenis, yaitu sampah organik, sampah anorganik, dan sampah berbahaya. Sampah organik yaitu sampah yang berasal dari alam dan mudah terurai seperti daun – daunan, kertas, kayu, dll. Lalu sampah anorganik adalah sampah yang berasal dari bahan non - hayati dan relatif lebih susah terurai dengan sendirinya. Sedangkan sampah berbahaya yaitu sampah yang beracun

seperti bahan kimia, limbah pabrik, dll. Masalah utama di Indonesia dalam penanggulangan sampah yaitu kurangnya kesadaran dari masyarakat untuk mau membuang sampah pada tempatnya dan kurang baiknya sistem pengelolaan sampah yang dilakukan.

CV. Jatayu Jaya Abadi adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang pengolahan sampah anorganik dengan menerima sampah – sampah bekas yang dapat di daur ulang. Perusahaan ini mendapatkan sampah yang dapat di daur ulang dari para pemulung yang memungut sampah dari tempat sampah atau

yang dibuang sembarangan. Bergerak dari adanya keinginan untuk menyelesaikan permasalahan penanggulangan sampah yang ada di Indonesia dan berkeinginan untuk mengedukasi masyarakat untuk mau membuang sampah pada tempatnya, maka perusahaan ini ingin merancang suatu mesin yang bernama *reverse vending machine* yang dapat digunakan untuk mengolah sampah, khususnya sampah anorganik (botol kaleng dan botol plastik). Munculnya gagasan ini juga karena memang CV. Jatayu Jaya Abadi memang bergerak dalam pengolahan sampah anorganik, sehingga konsentrasinya hanya sampah botol minuman kaleng dan plastik saja. Selain itu, karena sampah botol minuman kaleng dan plastik memiliki nilai jual yang baik apabila telah dilakukan daur ulang.

Bentuk pengolahannya berupa memperkecil volume dari sampah botol kaleng dan botol plastik yang selanjutnya akan dilakukan proses daur ulang, lalu mesin akan menghitung jumlah botol yang dimasukkan ke dalam mesin. Untuk selanjutnya akumulasi data jumlah sampah botol minuman yang dimasukkan dapat dicetak menjadi struk yang dapat ditukar menjadi uang *cash* atau bisa juga ada pilihan untuk di sedekahkan bagi yang kurang mampu. Diperkecil volumenya agar RVM dapat menampung cukup banyak sampah botol minuman yang dimasukkan. Dengan adanya mesin ini diharapkan timbul kesadaran untuk membuang sampah pada tempatnya.

Mesin seperti ini sebenarnya sudah ada di kebanyakan negara di Eropa, contohnya seperti *DIGI reverse vending machine DRV 1111* :

Gambar 1.1 *DIGI reverse vending machine DRV 1111*



Dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1.1 Spesifikasi *DIGI reverse vending machine DRV 1111*

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Nama Model	DRV – 1111
2	Dimensi	W: 790 x D: 975 x H: 1,800
3	Berat	325 kg
4	Sumber Daya	220-240V ; 50/60Hz
5	Konsumsi Daya	8.80A, 1.2kW
6	Temperatur Kerja	10 to 35 derajat Celcius
7	Container Type	Botol plastik dan botol kaleng
8	Container Feeding	Horizontal, 1 insertion slot
9	Container Size	φ52mm diameterx150mm-φ130mm diameterx360mm
10	Container Recognition	Barcode, Safety mark, Container shape
11	Ukuran Penampung	W: 600 x D: 800
12	Display	8.4 inch TFT color display with touch screen function for maintenance.
13	Receipt Printer	Thermal printer for text, images and barcodes.
14	Receipt Roll Size	φ150mm diameter, 57.5mm width

Namun untuk diaplikasikan di Indonesia masih belum bisa optimal, karena mesin yang sudah ada memiliki sistem kerja dengan membaca *barcode* dari setiap botol kaleng atau botol plastik yang masuk. Jadi setiap botol di negara – negara di Eropa sudah memiliki *barcode* yang dapat terdeteksi oleh mesin RVM yang ada disana, sedangkan di Indonesia setiap botol kaleng atau botol plastik belum di *set* seperti itu. Selain itu juga, harga mesin RVM yang sudah ada relatif mahal, maka penulis merancang RVM yang memiliki harga relatif lebih murah namun memiliki fungsi yang sama.

### 1.2 Rumusan Masalah

Seperti telah dijelaskan pada latar belakang penelitian yang akan dilakukan, penulis tertarik untuk melakukan perancangan *reverse vending machine* khusus botol kaleng dan botol plastik yang dapat diterapkan di Indonesia. Pertanyaan penelitian berkenaan masalah yang akan dikaji adalah :

Bagaimana tahapan perancangan dan konstruksi dalam membuat *reverse vending machine* yang dapat diterapkan di Indonesia dengan *budget* maksimal Rp. 35.000.000,- ?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam perancangan *reverse vending machine* khusus botol kaleng dan botol plastik yang dapat diterapkan di Indonesia adalah :

1. Merancang konstruksi mekanis dari alternatif yang terpilih pada semua sub fungsi yang dimiliki RVM dengan *budget* maksimal Rp. 35.000.000,-.
2. List harga dari alternatif terpilih.
3. Analisis kekuatan dari komponen dan elemen transmisi yang dianggap kritis.
4. Tidak membahas sistem kontrol.
5. Tidak membahas kekakuan dan getaran mesin akibat penggerak.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah menghasilkan draft rancangan produk *reverse vending machine* yang dapat direalisasikan di Indonesia dengan *budget* maksimal Rp. 35.000.000,-.

### 1.5 Metoda Penulisan

Secara umum metoda pencarian data yang dilakukan ialah :

1. Wawancara dan berdiskusi dengan narasumber terkait.
2. Observasi dan pengamatan langsung.
3. Studi literature.
4. Konsultasi dengan pembimbing.

## 2. Proses Perancangan

### 2.1 Metodologi Perancangan

Metodologi yang digunakan untuk perancangan *reverse vending machine* adalah *VDI 2222*. Pada metodologi ini terdapat empat tahapan utama untuk menyelesaikan suatu rancangan yaitu tahap merencana, mengkonsep, merancang, dan menyelesaikan.

### 2.2 Tahap Merencana

Mengidentifikasi masalah yaitu, Di Indonesia permasalahan mengenai sampah merupakan masalah yang cukup berkepanjangan. Penyebab utamanya yaitu kurangnya kesadaran masyarakat untuk mau membuang sampah pada tempatnya dan kurang baiknya sistem pengelolaan yang dilakukan. Bergerak dari adanya keinginan untuk menyelesaikan permasalahan penanggulangan sampah yang ada di Indonesia dan berkeinginan untuk mengedukasi masyarakat untuk mau membuang sampah pada tempatnya CV. Jatayu Jaya Abadi ingin merancang suatu mesin yang bernama *reverse vending machine* yang dapat digunakan untuk mengolah sampah, khususnya sampah anorganik (botol kaleng dan botol plastik). Sebenarnya *reverse vending machine* sudah

banyak beredar di banyak negara di Eropa, namun memiliki beberapa kelemahan untuk diterapkan di Indonesia, yaitu :

- Harga RVM yang relatif mahal dikarenakan konstruksi yang kurang *simple*.
- Sistem *barcode* yang mengakibatkan botol – botol minuman kaleng dan plastik yang ada di Indonesia tidak dapat terdeteksi.

Adapun produk yang dapat diproses oleh RVM adalah botol kaleng atau plastik bekas dengan data sebagai berikut.

Botol kaleng terbuat dari bahan aluminium, sedangkan botol plastik terdiri dari tiga bahan dalam satu botol. Bagian tutup botol berbahan HDPE, bagian badan botolnya berbahan PET, dan bagian *shrink label* berbahan PP. Berikut tabel ukuran sampah botol plastik dan botol kaleng yang ada di pasaran.

Tabel 2.1 Ukuran botol plastik dan botol kaleng

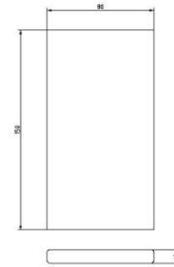
No	Parameter	Minimum	Maksimum	Rata-rata
1	Berat (g)	10	15	12,5
2	Panjang (cm)	80,00	230,00	155,00
3	Diameter (cm)	40,00	80,00	60,00

Contoh produk yang dapat diproses oleh RVM, sebelum volumenya diperkecil :



Gambar 2.1 Botol sebelum diproses

Produk yang diharapkan setelah diperkecil volumenya :



Gambar 2.2 Botol Setelah Volume Diperkecil

### 2.3 Tahap Mengkonsep

Proses pertama dalam tahap mengkonsep adalah membuat daftar tuntutan sebagai acuan pembuatan rancangan. Selanjutnya menentukan fungsi menyeluruh dari mesin perontok padi *portable* dengan metode *black box* yang nantinya akan menghasilkan struktur pada masing-masing fungsi bagian rancangan.

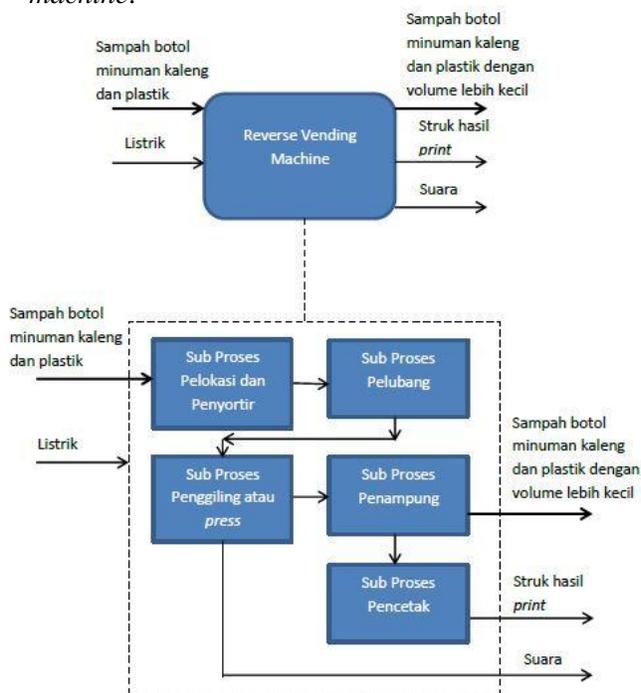
Berikut adalah daftar tuntutan yang harus dipenuhi pada proses perancangan:

Tabel 2.2 Tuntutan dan spesifikasi produk

No	Daftar Tuntutan	Keterangan	
1	Tuntutan Utama		
	a	Kapasitas Alat	1 botol per sesi
	b	Harga	≤ Rp. 35.000.000,- / mesin
	c	Penggerak	Motor Listrik / pneumatik
	d	Ketebalan botol yang diharapkan	10 – 15 mm
e	Mekanisme	<i>roll / press</i>	
2	Tuntutan Kedua (Dimensi Mesin)		
	a	Panjang	≤ 1000 mm
	b	Lebar	≤ 1000 mm
	c	Tinggi	≤ 2000 mm
d	Berat	Tidak lebih berat dari	

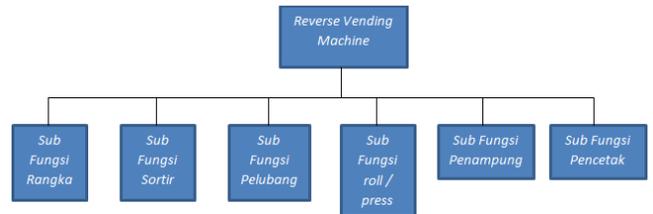
		mesin yang sudah ada ( $\leq 325$ kg).	
3	Keinginan		
	a	Mudah dalam perawatan	Bongkar pasang komponen mesin tidak memerlukan alat khusus.
	b	Mudah dalam pengoperasian	Pengoperasian mesin dapat dilakukan oleh semua kalangan, kecuali anak SMP ke bawah perlu didampingi.
c	Mudah dibawa	Tidak menyulitkan untuk dipindah – pindah.	

Pada gambar 2.3 terdapat penjabaran tentang isi *black box* untuk perancangan *reverse vending machine*.



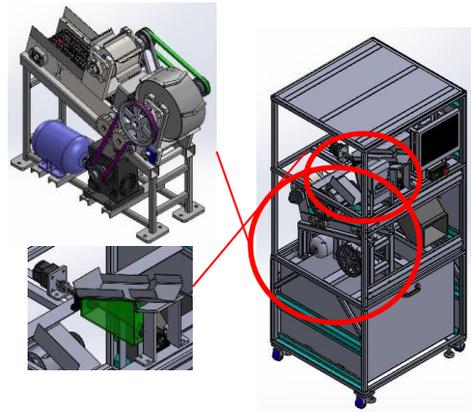
Gambar 2.3 Konsep Black Box

Setelah *black box* terdefinisi kemudian dibuat struktur fungsi bagian. Struktur fungsi bagian dibuat pada rancangan *reverse vending machine*.



Gambar 2.4 Fungsi Bagian

Setelah proses pembuatan alternatif dari masing-masing fungsi bagian dan menghasilkan beberapa konsep dari rancangan *reverse vending machine* maka didapatkanlah konsep terpilih melalui proses pemilihan konsep berdasarkan VDI 2222. Berikut merupakan konsep terpilih untuk rancangan *reverse vending machine*.



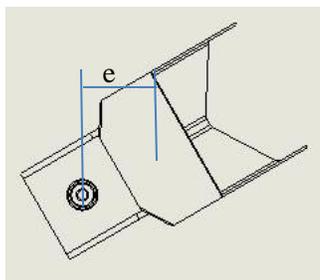
Gambar 2.5 Alternatif Variasi Konsep Terpilih

Pada variasi tersebut, rangka mesin terbuat dari baja profil dan *sheet metal* yang disambung dengan menggunakan baut untuk memudahkan *maintenance*. Fungsi sortir menggunakan plat tekuk V sebagai penempatan botol untuk dilakukan pengecekan oleh sensor pendeteksi bahan, sensor cahaya, dan pendeteksi berat. Dalam sub fungsi ini karakteristik botol yang tidak sesuai dengan ketentuan akan dikeluarkan kembali dan botol yang dianggap sesuai dengan karakteristik akan dilanjutkan ke proses

selanjutnya. Data botol yang dianggap sesuai akan dihitung jumlahnya dan datanya disimpan. Proses selanjutnya yaitu memperkecil volume botol agar dapat menghemat tempat di penampungan dan memudahkan untuk proses daur ulang selanjutnya. Botol diperkecil dengan cara digiling / roll, dimana roller berada pada sebuah konveyor yang berjalan. Sebelum proses penggilingan juga terdapat pelubang untuk mengantisipasi adanya udara terjebak dalam botol. Botol yang sudah tergiling akan otomatis jatuh ke penampungan dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Setelah selesai, data yang tersimpan bisa dicetak menjadi struk atau hanya disimpan dalam mesin.

### 3. Perhitungan Rancangan

#### 3.1 Perhitungan Daya Motor DC



Gambar 3.1 Torsi di Penyortir

Dik : Berat keseluruhan pelat dan botol = 4,6 kg.

Jarak titik berat (e) = 35,29 mm.

$$4,6 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 45,12 \text{ N}$$

Dit : Torsi dan Daya Motor yang diperlukan ?

Jawab :

$$T = F_w \times e = 45,12 \text{ N} \times 35,29 \text{ mm} = 1592,49 \text{ Nmm}$$

$$P_{nenn} = \frac{T \times n}{9550} = \frac{1,592 \text{ Nm} \times 20}{9550 \times 1,5} = 0,003 \text{ kW}$$

$$= 3,3 \text{ Watt}$$

$$P = \frac{P_{nenn}}{\eta} = \frac{3,3 \text{ Watt}}{90\%} = 3,67 \text{ Watt}$$

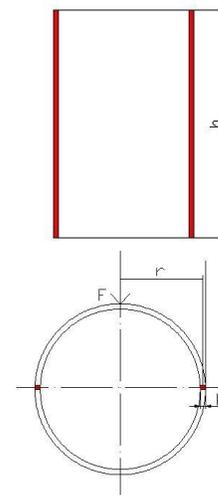
Maka dipilih motor DC oriental motor 6W 21K6GN – CWE

#### 3.2 Menghitung Gaya yang Dibutuhkan Untuk Menggiling Botol

Bahan dari botol kaleng yaitu aluminium 6061 dan bahan dari botol plastik yaitu plastik PET. Diambil data *yield strength* dan *tensile strength* dari aluminium 6061 karena memiliki kekuatan yang lebih besar daripada plastik. Bahan aluminium 6061 memiliki  $Re = 62 \text{ N/mm}^2$  dan  $Rm = 125 \text{ N/mm}^2$  Maka untuk dapat memperkecil volume botol dengan cara digiling dalam keadaan plastis (berubah bentuk tapi tidak kembali lagi ke bentuk semula, tapi tidak sampai putus), tegangan yang terjadi harus diantara kekuatan mulur ( $Re$ ) dan kekuatan tarik ( $Rm$ ) nya. Maka untuk mengetahui gaya yang dibutuhkan untuk menggiling botol tersebut dapat dilakukan dengan cara berikut :

Dik :  $b = 2,5 \text{ mm}$ ,  $D = 80 \text{ mm}$ , dan  $h = 130 \text{ mm}$  (diambil  $h$  kaleng paling besar).

Dihitung menggunakan tegangan bengkok, karena tegangan bengkok merupakan tegangan paling besar yang terjadi.



Gambar 3.2 Gaya pada botol

Diinginkan  $Re \leq$  diambil  $100 \text{ N/mm}^2 \leq Rm$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \leq \sigma_{bij}$$

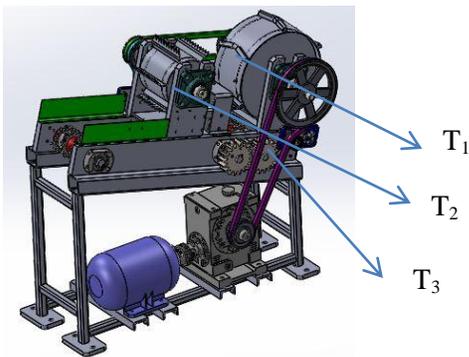
$$= \frac{0,5F \times r \times 6}{b \times h^2} \leq 100 \text{ N/mm}^2$$

$$F = 2 \times \left( \frac{100 \text{ N/mm}^2 \times 130 \times 2,5^2}{40 \text{ mm} \times 6} \right) = 677 \text{ N}$$

### 3.3 Menghitung Daya Motor yang Diperlukan

Untuk dapat menentukan motor jenis apa yang akan dipakai maka kita harus mengetahui daya yang dibutuhkan oleh motor untuk dapat menggerakkan seluruh sistem yang akan digerakkan. Untuk dapat mengetahui daya yang dibutuhkan, dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Langkah awal untuk melakukan perhitungan daya pada motor perlu mendefinisikan torsi yang ada pada bagian penggiling ( $T_1$ ), torsi pada bagian pelubang vertikal ( $T_2$ ), dan torsi pada bagian konveyor ( $T_3$ ).



Gambar 3.3 Torsi pada poros

#### Torsi bagian penggiling

$$T_1 = F_T \times r \\ = 3,54 \text{ N} \times 229,1/2 \text{ mm} = 405,5 \text{ Nmm}$$

#### Torsi bagian pelubang

$$T_2 = F_T \times r \\ = 2.32 \text{ N} \times 175/2 \text{ mm} = 203,1 \text{ Nmm}$$

#### Torsi bagian konveyor

$$T_3 = T_3' \times 4 = 387.85 \text{ Nmm} \times 4 = 1551.43 \text{ Nmm}$$

Untuk memudahkan perhitungan daya motor, semua torsi di masing – masing bagian dipindahkan ke torsi pada penggiling.

$$T_{\text{Penggiling}} = 405,5 \text{ Nmm} + 203,1 \text{ Nmm} + 1551,43 \text{ Nmm} = 2160,03 \text{ Nmm}$$

$$T_{\text{Reducer}} = 2160,03 \text{ Nmm} / 2,5 = 864,12 \text{ Nmm}$$

$$T_{\text{Motor}} = 864,12 \text{ Nmm} / 20 = 43,2 \text{ Nmm}$$

$$P_{\text{nenn}} = \frac{T_{\text{Motor}} \times n}{9550 \times K_A} \\ = \frac{0.0432 \text{ Nm} \times 1000}{9550 \times 1.6} = 0.00282 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Motor}} = \frac{P_{\text{nenn}}}{\eta}; \eta = 70\% \times 92\% \times 92\% \times 92\% \times 70\% = 0.38\%$$

$$P_{\text{Motor}} = \frac{0.00282 \text{ kW}}{0.38} = 0.00744 \text{ kW (daya yang dibutuhkan)}$$

Maka dipilih motor listrik tipe MEZ 6 poles  $P = 0.18 \text{ kW}$   $n = 1000 \text{ rpm}$

### 3.4 Menghitung Elemen Transmisi Sabuk dan Puli

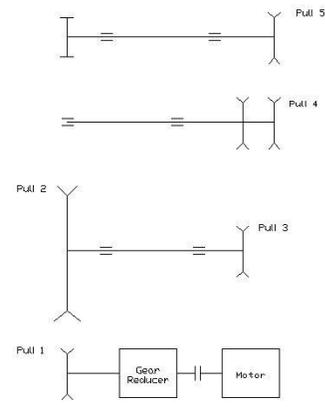
Daya motor ( $P_m$ )= 0,0074 kW;

Faktor Kerja ( $K_A$ ) = 1,5 (dari buku rollof/matek TB 3-5);

$n_{\text{in}} = 50 \text{ rpm}$

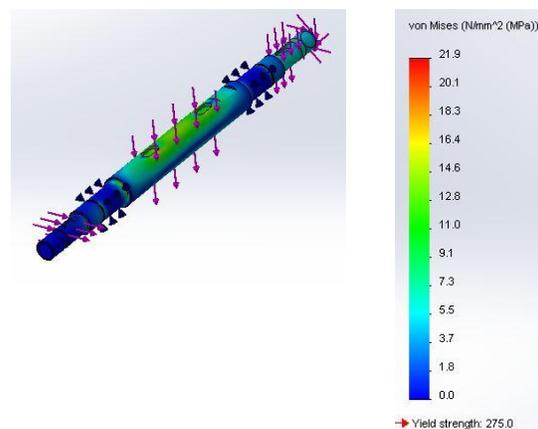
$n_{\text{out}} = 20 \text{ rpm}$

Rasio total:  $i_{\text{total}} = n_{\text{in}}/n_{\text{out}} = 2.5$



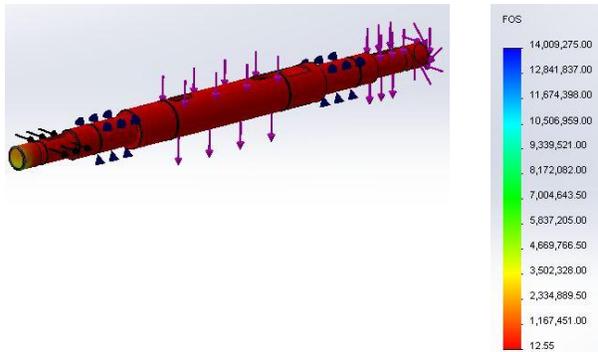
Gambar 3.4 Skema Transmisi Puli

### 3.5 Perhitungan Poros



Gambar 3.5 Hasil Analisa Tegangan Pada Poros Krisis

Pada konstruksi rangka seperti di atas terjadi tegangan maksimal sebesar 21,9 N/mm<sup>2</sup>. Dimana batas tegangan harus lebih kecil dari  $R_e$  material rangka yaitu 335 N/mm<sup>2</sup> (bahan st.60). Maka berdasarkan hasil analisis konstruksi rangka terhadap tegangan yang terjadi adalah aman.



Gambar 3.6 Hasil Analisa Safety Factor pada Poros Krisis

Pada konstruksi rangka seperti di atas memiliki *factor of safety* statis terkecil sebesar 12,56. Dimana batas minimal *factor of safety* adalah 1,5 (berdasarkan *rolloff/matek*, 2007). Maka berdasarkan hasil analisis konstruksi rangka terhadap *factor of safety* yang terjadi adalah aman.

#### 4. Kesimpulan

Dari proses perancangan *reverse vending machine* yang telah dilakukan telah terpilih variasi konsep 1, yang terdiri dari sub fungsi rangka yang terbuat dari *sheet metal* dan baja profil, lalu sub fungsi sortir menggunakan plat tekuk yang terdapat sistem sensor. Lalu untuk sub fungsi pelubang dan penggiling terdapat dalam satu sistem dimana pelubang berupa *roller crusher* dan penggiling berupa *roller*.

Konsep rancangan terpilih tersebut telah dilakukan perhitungan secara manual terhadap beberapa komponen elemen mesin untuk memastikan konstruksi yang ada dapat berjalan dengan baik dan kuat terhadap beban kerja yang dibutuhkan. Selain perhitungan manual juga

telah dilakukan analisis *finite element* untuk memvalidasi hasil perhitungan manual yang telah dilakukan.

Dari konsep rancangan tersebut dilakukan perhitungan estimasi harga kasar untuk membuat satu produk *reverse vending machine*. Total biaya yang diperlukan untuk membuat satu buah *reverse vending machine* yaitu Rp. 31.106.300,-. Detail perhitungan terlampir.

Dari proses perancangan, perhitungan dan analisis komponen elemen mesin, dan perhitungan estimasi harga yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa dapat dihasilkan draft rancangan *reverse vending machine* yang dapat diterapkan di Indonesia dengan budget maksimal Rp. 35.000.000,-.

#### Daftar Pustaka

1. Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., Voßiek, J., 2007. *Roloff/Matek Maschinen-elemente: Normung, Berechnung, Gestaltung 21. Auflage*. Springer Vieweg. Deutschland.
2. P. Beer, Ferdinand, E. Russell Johnston, Jr, John T Dewolf, David F. Mazurek, 2012. *Mechanics of Materials Six Edition*, McGraw Hill, New York USA
3. Hakim, A R., 2005, *Kekuatan Bahan Dasar*, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Bandung.
4. FARM SHOW • vol. 35, no. 5, www.farmshow.com, *Rolling Can Crusher Work Fast*.
5. Ruswandi, Ayi, 2004, *Metode Perancangan I*, Bandung : Politeknik Manufaktur Bandung.
6. Melissa, Liem Siew Sian, Mei 2011, *Smart Recycle and Reward Bin*. Malaysia : Faculty of Engineering and Science, Universiti Tunku Abdul Rahman.

7. POLMAN. 2000. *STANDAR POLMAN SERI 0*. Bandung : Politeknik Manufaktur Negeri Bandung.
8. Yuliyawati, Sri Nur dan Hazma. 2006. *Bahasa Indonesia Ilmiah dan Tata Tulis Laporan*. Bandung: Politeknik Manufaktur Negeri Bandung.
9. Meriam, J.L dan L.G. Kraige, 1996, *Mekanika Teknik Statika*, Penerbit Erlangga, Jakarta.