

Rancang Bangun Mesin *Shaker* Untuk *Jerrycan* Kemasan 2x5 Kilogram Skala Laboratorium

Nafsan Upara¹⁾, Mochamad Zaelani²⁾

^{1,2)}Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila
Email : nafsan@univpancasila.ac.id, mochamadzaelani@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan produksi cat diperlukan pengecekan rutin terhadap kualitas, banyak sekali kebutuhan warna didapati dari pencampuran beberapa warna cat, salah satunya adalah *Cathodic Electro Deposition* (CED). Larutan CED ini berbahan air, *resin*, *pigment* dan *additive* diperlukan kehomogenan yang baik karena tingkat kehomogenan mempengaruhi hasil dari pengecekan sampel. Penghomogenan secara manual kurang menghasilkan kehomogenan karena sangat tergantung dari kondisi manusia yang melakukan pengocokan sampel tersebut yang membutuhkan waktu > 15 menit. Mesin *shaker* yang ada umumnya bentuk lingkaran antara lain tabung atau kaleng, untuk maksud tersebut rancangan bangun ini dilakukan untuk kebutuhan bentuk *Jerrycan* yang digunakan untuk lab kualiti kontrol pabrik cat.

Rancang bangun mesin *shaker* ini menggunakan metode perancangan VDI 2221 untuk *jerrycan* kemasan 2 x 5 kilogram. Komponen utama mesin *shaker* terdiri dari 4 (empat) komponen utama, yaitu kerangka, motor listrik, engkol eksentrik, dan box sampel. Kerangka berfungsi sebagai dudukan semua komponen yang digunakan. Motor listrik berfungsi untuk menggerakkan semua transmisi. Engkol eksentrik berfungsi mengubah gaya putar yang berasal dari motor menjadi gaya bulak balik atau maju mundur pada *box* sampel sedangkan *box* sampel berfungsi untuk wadah atau tempat *jerrycan* yang akan dihomogenkan. Dari hasil rancang bangun diperoleh mesin *shaker* dengan dimensi 682x450x528 mm, motor listrik menggunakan model BLY-71M2-4 1 phase, mempunyai spesifikasi dengan berat 5kg, putaran 1330 rpm, tegangan 220 Volt dengan daya 0,37 kW. Dari hasil uji coba diperoleh kehomogenan dengan waktu dibawah 5 menit.

Kata kunci : CED, mesin *shaker* kemasan *jerrycan* 2 x 5 kilogram, penghomogenan larutan

1. Latar Belakang

Ide mesin pengocok (*shaker*) bukanlah hal baru, tetapi desain mesin pengocok saat ini dalam mencampur bahan, operator menggunakan mesin pengocok yang besar dan mahal yang sulit dipindahkan dan membutuhkan lebih banyak *power suplay* serta kuat untuk mendukung mesin (Mracek, dkk, 2005). Pada perusahaan cat PT. XYZ terdapat berbagai bagian-bagian pekerjaan yang mendukung suatu kegiatan produksi cat. Ada bagian yang melakukan tugas mengecek sampel cat dilakukan pada laboratorium CED. Sampel cat yang diambil dari berbagai *customer*-nya adalah rutinitas harian yang selalu dilakukan. Sampel yang dibawa dari tiap *customer* ke laboratorium CED menggunakan kemasan *jerrycan* berukuran 5 liter yang berat 5 kg untuk dicek kandungan cat dan suatu kondisi parameter tertentu untuk disesuaikan dengan standar cat CED yang ditetapkan perusahaan. Dalam pengecekan di Laboratorium CED, sampel cat dalam kemasan *jerrycan* dibutuhkan kehomogenan dalam pencampuran, setelah sampel larut sempurna, maka akan dilakukan proses pengecekan parameter.

Dalam kegiatan pengecekan sampel saat ini, jumlah sampel dalam sehari biasanya sekitar 18 sampel cat CED yang harus dilakukan pengecekan dilaboratorium, sedangkan tiap sampel membutuhkan waktu sekitar 15 menit untuk proses pelarutan endapan cat dengan cara pengocokan secara manual dimana pula tergantung dari banyaknya endapan yang terbentuk didalam *jerrycan* dan tergantung berapa lama cat CED tersebut didiamkan. Jadi total waktu yang dibutuhkan untuk mengocok secara manual semua sampel *jerrycan* tadi yaitu 270 menit/sampel. Pengocokan secara manual dilakukan oleh petugas laboratorium dan tentunya hasil kehomogenan sangat tergantung dari kondisi petugas yang mengocok sampel.

Hal ini fungsinya berbeda dengan mesin pengocok cat untuk menghasilkan warna tertentu yang ada saat ini, yang tidak dapat digunakan untuk mengocok sampel CED cat untuk pengecekan di laboratorium.

Dengan melihat permasalahan seperti di atas, penulis ingin merancang bangun mesin pengocok (*shaker*) yang dapat menggantikan atau meringankan beban kerja petugas pengocokan *jerrycan* yang di laboratorium, dimana alat ini akan berfungsi sebagai alat pembantu untuk menghomogenkan dan melarutkan endapan cat CED di dalam *jerrycan* sehingga mutu dari pengecekan dapat diperoleh dan waktu proses pengecekan lebih efisien. Mesin pengocok (*shaker*) yang dirancang bangun adalah untuk tipe *jerrycan* dengan kemasan 2 x 5 kg artinya sekali kocok untuk 2 *jerrycan* dengan berat 5 kg (49 N).

2. Metode

Diagram rancang bangun mesin shaker *jerrycan* diperlihatkan pada gambar.1



Gambar.1 Diagram alir rancang bangun mesin *shaker*

Metode rancangan mesin shaker mengikuti metode *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI) 2221. Secara keseluruhan langkah langkah kerja yang terdapat dalam VDI 2221 dikelompokkan menjadi 4 fase yaitu (VDI 2221,1993):

1. Pengambilan Data (*Take Of Data*)
2. Perancangan Konsep (*Conceptual Design*)
3. Perancangan Detail (*Embodiment Design*)
4. Pembuatan (*Manufacturing*)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pembuatan dan Pemilihan Varian Konsep





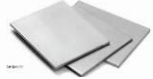


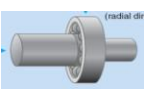






Untuk mendapatkan kombinasi terbaik, kriteria yang harus diperhatikan dalam memilih kombinasi solusi perancangan (Mindar, 2008) adalah :

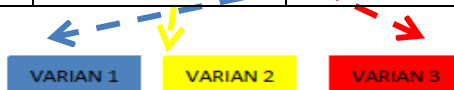
- a. Sesuai dengan fungsi keseluruhan
- b. Sesuai dengan daftar kehendak
- c. Secara prinsip dapat diwujudkan
- d. Dalam batas produksi

- e. Pengetahuan tentang konsep memadai
- f. Sesuai dengan keinginan perencanaan
- g. Memenuhi syarat keamanan

Tabel 1 diperlihatkan pemilihan kombinasi konsep solusi rancangan mesin shaker didasarkan butir 3.1a sd 3.1g.

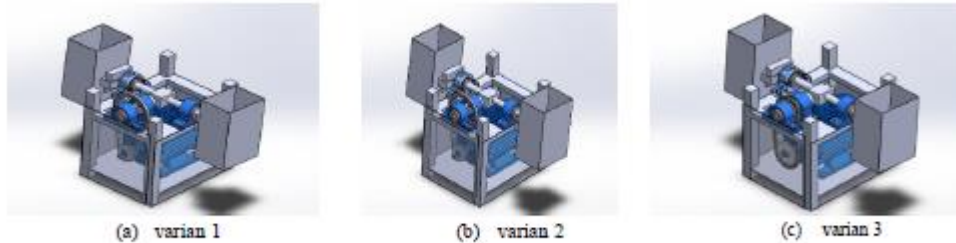
Tabel 1. Pemilihan Kombinasi Konsep Solusi Perancangan

No.	Sub fungsi	Solusi 1	Solusi 2
1	Sumber penggerak	1-1 Motor DC 	1-2 Motor AC 
2	Penerus daya	2-1 Pully dan belt 	2-2 Rantai dan Roda Gigi 
3	Box Sampel Jerrycan	3-1 Plat Besi 	3-2 Plat Stainless 
4	Bantalan	4-1 Bantalan Linier 	4-2 Bantalan Gelinding 
5	Identifikasi Sampel Telah Homogen	5-1 Visual mata 	5-2 Alat Ukur 
6	Kerangka	6-1 Besi Hallow Kotak 	6-2 Besi Pejal Kotak 
7	Batas mesin beroperasi	7-1 Automatic timer 	7-2 Saklar 



Dari hasil kombinasi varian pada Tabel 1 dihasilkan kombinasi varian sebagai berikut :

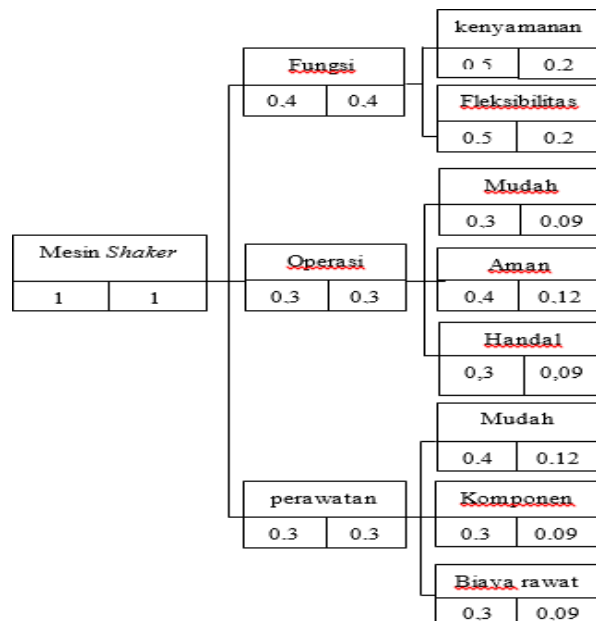
- a. Varian 1 : 1-2, 2-1, 3-1, 4-1, 5-1, 6-1, 7-2
- b. Varian 2 : 1-1, 2-1, 3-1, 4-1, 5-1, 6-1, 7-1
- c. Varian 3 : 1-2, 2-2, 3-2, 4-1, 5-2, 6-2, 7-2



Gambar 2. Konsep kombinasi varian

Dalam menetapkan/pilihan varian konsep, dilakukan langkah-langkah dalam mengevaluasi yaitu :

- a. Menentukan kriteria evaluasi yang didasarkan pada spesifikasi yang dibuat.
 - Hasil sampel cat yang telah terhomogenkan sempurna
 - Box sampel yang fleksibilitas
 - Kemudahan dalam pengoperasian mesin shaker
 - Keamanan dalam pengoperasian mesin shaker.
 - Mesin shaker handal
 - Kemudahan dalam perawatan mesin shaker.
 - Kemudahan dalam manufaktur.
 - Rendah Biaya perawatan mesin shaker.
- b. Pemberian bobot kriteria
Evaluasi dititik beratkan pada sifat utama yang diinginkan pada solusi akhir.



Gambar 3. Pemberian bobot kriteria

c. Menentukan kriteria evaluasi

Tabel 2. Kriteria Evaluasi Varian 1

No.	Kriteria Evaluasi	B	Varian 1		
			H	M	BM
1.	kenyamanan	0,2	kurang	1	0,2
2.	Fleksibilitas	0,2	Baik	3	0,6
3.	Mudah Operasi	0,09	Cukup	2	0,18
4.	Aman Operator	0,12	Cukup	2	0,24
5.	Handal	0,09	cukup	2	0,18
6	Mudah rawat	0,12	baik	3	0,36
7.	Komponen	0,09	baik	3	0,27
8.	Biaya Perawatan	0,09	Sangat baik	4	0,36
Jumlah		1	Jumlah		2,39

Tabel 3. Kriteria Evaluasi Varian 2

No.	Kriteria Evaluasi	B	Varian 2		
			H	M	BM
1.	Kenyamanan	0,2	kurang	1	0,2
2.	Fleksibilitas	0,2	Baik	3	0,6
3.	Mudah Operasi	0,09	Cukup	2	0,18
4.	Aman Operator	0,12	Cukup	2	0,24
5.	Handal	0,09	Baik	3	0,27
6	Mudah rawat	0,12	Cukup	2	0,24
7.	Komponen	0,09	Cukup	2	0,18
8.	Biaya Perawatan	0,09	bagus	3	0,27
Jumlah		1	Jumlah		2,18

Tabel 4. Kriteria Evaluasi Varian 3

No.	Kriteria Evaluasi	B	Varian 3		
			H	M	BM
1.	kenyamanan	0,2	Baik	3	0,6
2.	Fleksibilitas	0,2	Baik	3	0,6
3.	Mudah Operasi	0,09	Cukup	2	0,18
4.	Aman Operator	0,12	Cukup	2	0,24
5.	Handal	0,09	Cukup	2	0,18
6	Mudah rawat	0,12	Kurang	1	0,12
7.	Komponen	0,09	Kurang	1	0,09
8.	Biaya Perawatan	0,09	Kurang	1	0,09
Jumlah		1	Jumlah		2,10

Keterangan :

M = Poin; B = Bobot ; H = Hasil; BM= Perkalian bobot dengan poin

Adapun nilai M dari tabel diatas dapat dilihat pada tabel skala nilai yang tertera dibawah ini.

Tabel 5. Skala Nilai

Skala Nilai	
Poin	Arti
0	Tidak memuaskan
1	Kurang
2	Cukup
3	Baik
4	Sangat baik

Dari rumus dibawah ini dapat ditentukan varian yang sesuai untuk dibuat:

$$\text{Varian} = \frac{\text{Jumlah Point}}{V \max \sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

$$\text{Varian 1} = \frac{2,39}{5 \times 10} = 0,0478$$

$$\text{Varian 2} = \frac{2,18}{5 \times 10} = 0,0436$$

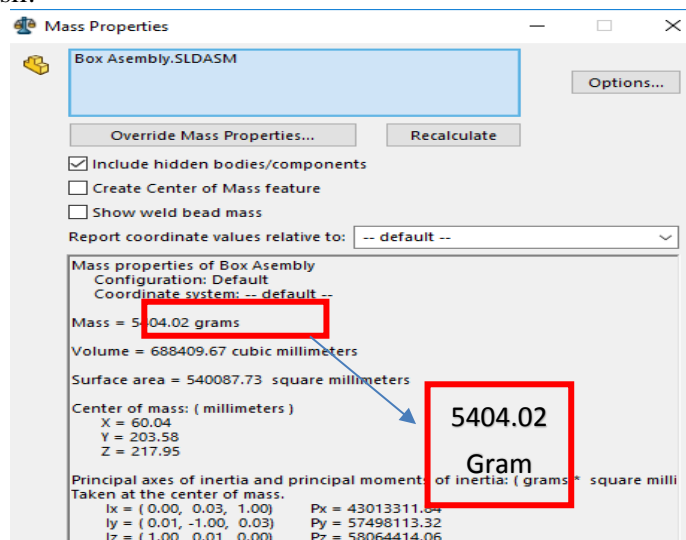
$$\text{Varian 3} = \frac{2,10}{5 \times 10} = 0,0420$$

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa konsep varian 1, memiliki skor yang paling tinggi yaitu 0,0478. Maka dipilih konsep varian 1 untuk masuk dalam tahap perancangan detail dan proses pembuatan mesin *shaker*.

3.2 Perancangan Detail

a. Perhitungan Daya Motor

Torsi yang akan diterima motor adalah beban dari *box sample* didapat dari *assembly 3D model* yang sudah dibuat dan diberi jenis material, lalu dilihat *mass properties* dengan menggunakan perangkat lunak Solidworks 2017 maka didapatkan hasil:



Gambar 4. Mass Properties Box Sample (vertical)

Pada perancangan ini terdapat 2 *box sample* dan 2 buah *jerrycan* berisi sample

$$m_{\text{Box Sample}} = 540,02 \text{ gram} \times 2 = 1080,04 \text{ gram atau } 10,808 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Jerrycan dan sample}} = 5000 \text{ gram} \times 2 = 10000 \text{ gram atau } 10 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Box Sample+jerrycan dan sample}} = 10,808 \text{ kg} + 10 \text{ Kg} = 20,808 \text{ kg}$$

$$r_{\text{Poros}} = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$$

$$T = F \cdot r = (m \times g) \times r$$

$$T = (20,808 \times 9,81) \times 0,03 = 6,123 \text{ [N. m]}$$

(2)

Berdasarkan hasil perhitungan torsi yang akan diterima motor listrik adalah sebesar 6,123 [N.m]. Dari hasil tersebut dapat dihitung daya motor yang diperlukan adalah :

$$N_{Poros} = 466 \text{ [rpm]} \text{ (Dari hasil perbandingan diameter pully)}$$

$$T = 28,577 \text{ [N.m]} \text{ power} = \frac{2\pi \times N \times T}{60}$$

$$= \frac{2\pi \times 466 \times 6,123}{60} = 298,6 \text{ [Watt]} / 0,298 \text{ kW} \quad (3)$$

Table 6. Spesifikasi Motor Listrik

TECHNICAL DATA OF GLY SERIES													
Type	Output (kW)	Speed (r/min)	Amps (A)	Voltage (V)	EFF (%)	P.F. Cos φ	LRT RLT	BST RLT	LRA RLA	Noise Level(dBA)	(ft/v)	(ft/v)	Weight (kg)
GLY 711-2	0.37	2800	2.7	220	67	0.92	1.8	1.8	5.5	72	50/250	8/450	10
GLY 712-2	0.55	2800	3.9	220	70	0.92	1.8	1.8	5.5	72	100/250	15/450	11
GLY 711-4	0.25	1400	2.0	220	62	0.92	1.7	1.8	5.0	67	75/250	15/450	9
GLY 712-4	0.37	1400	2.8	220	65	0.92	1.7	1.8	5.0	67	75/250	15/450	10
GLY 801-2	0.75	2800	4.9	220	73	0.95	1.8	1.8	5.5	75	100/250	25/450	14

Bedasarkan table 6 maka motor listrik yang akan digunakan adalah *single phase* 220 V, 0,37 kW atau setara dengan 0,5 [HP], *rate speed* 1400 rpm.

b. Perhitungan Poros

Daya yang ditranmisikan $P = 0,5 \text{ kW}$ dan putaran $n_1 = 1400 \text{ rpm}$

Faktor koreksi untuk tumbukan ringan $f_c = 1,0$

Nilai daya yang direncanakan $P_d = f_c \times P$, maka $P_d = 1,0 \times 0,5 \text{ Kw}$ Nilai momen puntir rencana $T = 9,74 \times 10^5 \times 10/1400 = 347,86 \text{ kg.mm}$

Kekuatan bahan S45C dari tabel bahan adalah :

Tegangan tarik $\sigma_B = 58 \text{ kg/mm}^2$; Faktor keamanan untuk menghitung tegangan geser ijin $Sf_1 = 6,0$; Dan faktor keamanan untuk konsentrasi tegangan $Sf_2 = 2,0$;Tegangan geser yang diijinkan $t_a = 58/(6,0 \times 2,0) = 48,3 \text{ kg/mm}^2$; Karena poros akan mengalami beban lentur maka diambil fakto beban lentur $C_b = 2,0$ dan faktor koreksi untuk momen puntir $K_1 = 1,5$; Diameter poros dapat dihitung dengan rumus (sularso,dkk, 2004) :

$$d_s = [5,1/ t_a K \times C_b \times T]^{1/3} \quad (4)$$

$$d_s = [5,1/ 4,83 \ 2,0 \times 1,5 \times 347,86]^{1/3} = 10 \text{ mm}$$

c. Perhitungan beban rangka

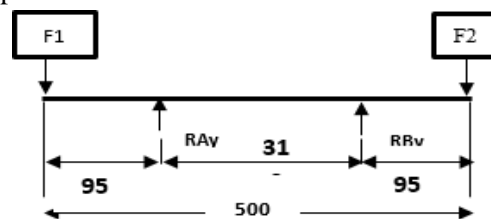
Adapun berat box sampel dan sampelnya yaitu :

Jerrycan + isi x 2 : 10 kg

Box sampel jerrycan x 2 : 10,808

Total : 20,808 kg x 9,81m/s² = 204,127N

Jadi masing-masing mendapatkan beban 10,404 kg atau 102,064 N, Diagram beban pada *box* sampel



Gambar 5. Diagram benda bebas

Reaksi tumpuan pada titik A adalah :

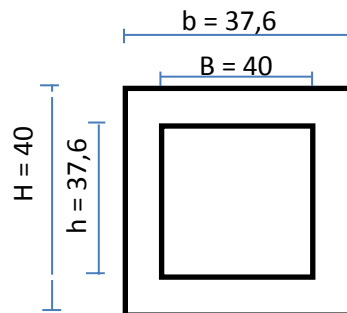
$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ F_2 (405) - R_{By} (310) - F_1 (95) &= 0 \\ 310 R_{By} &= F_2 (405) - F_1 (95) \\ &= 102,064 (405) - 102,064 (95) \\ &= 31639,8400 \text{ N} \\ R_{By} &= \frac{31639,8400 \text{ N.mm}}{310 \text{ mm}} \\ R_{By} &= 102,064 \text{ N} \end{aligned}$$

Reaksi tumpuan pada titik B adalah :

$$\begin{aligned} \sum M_B &= 0 \\ F_2 (405) - R_{Ay} (310) - F_1 (95) &= 0 \\ 310 R_{Ay} &= F_2 (405) - F_1 (95) \\ &= 102,064 (405) - 102,064 (95) \\ &= 31639,8400 \text{ N} \\ R_{Ay} &= \frac{31639,8400 \text{ N.mm}}{310 \text{ mm}} \\ R_{Ay} &= 102,064 \text{ N} \end{aligned}$$

d. Kekuatan Material

Untuk mencari luas penampang material besi *hollow* kotak sebagai berikut :



$$\begin{aligned} A &= (H \cdot B) - (h \cdot b) \\ A &= (40 \cdot 40) - (37,6 \cdot 37,6) \\ A &= 186,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

e. Faktor

Perhitungan tegangan (Beer, dkk, 1985)

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{102,064 \text{ N}}{186,24 \text{ mm}^2} = 0,5480 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Momen Inersia dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} \cdot (B \cdot H^3 - b \cdot h^3) \\ &= \frac{1}{12} \cdot (40 \cdot 40^3 - 37,6 \cdot 37,6^3) = 46773,56 \text{ mm}^4 \end{aligned} \quad (6)$$

tegangan geser (Beer, dkk, 1985):

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{v}{I \cdot t} \cdot \left(\frac{h}{2}\right) \cdot k \cdot t \\ &= \frac{102,064 \text{ N}}{46773,56 \text{ mm}^4 \cdot 1,2 \text{ mm}} \cdot \left(\frac{40 \text{ mm}}{2}\right) \cdot 160 \text{ mm} \cdot 1,2 \text{ mm} = 6,9850 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (7)$$

e. Faktor Keamanan

Besarnya faktor keamanan pada perancangan material diasumsikan adalah 2,0.

Sehingga tegangan maksimum yang terjadi:

$$\begin{aligned} S_f &= \frac{\text{Tegangan luluh material}}{\text{Tegangan kerja maksimum}} \\ \sigma_{\text{kerja max}} &= \frac{245 \text{ MPa}}{2,0} = 122,5 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (8)$$

f. Von Misses

Untuk menghitung besarnya *Von Misses* terlebih dahulu menghitung σ_x , σ_y dan τ_y . Dimana besarnya tegangan yang bekerja sepanjang sumbu x (σ_x) sebesar 0 karena kerangka tidak menerima beban dari arah sumbu x, sedangkan besarnya tegangan yang bekerja sepanjang sumbu y (σ_y) adalah $\sigma_y = 0,0651 \text{ N/mm}^2$

$$\sigma_{max_y} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left[\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right]^2 + (\tau_y)^2}$$

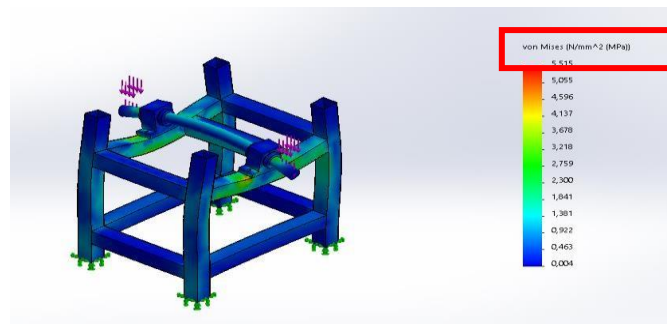
$$\sigma_{max_y} = \frac{0 + 0,0651 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2} + \sqrt{\left[\frac{0 + 0,0651 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2}\right]^2 + (6,9850 \text{ N/mm}^2)^2}$$

$$\sigma_{max_y} = 6,9861 \text{ N/mm}^2$$

Dari hasil diperoleh Aman ; $\sigma_{kerja\ max} > \text{Von Misses}$ pada titik y
122,5 MPa > 6,9861 Mpa

g. Analisa Rangka

Material yang digunakan SS 400 dengan nilai tegangan ijin 245 [MPa] , dari simulasi menggunakan solid work diperoleh yied strength



Gambar 6 Analisis Rangka mesin *shaker*

Dari hasil analisis dengan perangkat lunak, area yang berwarna biru nilai tegangan terendah nilainya 0,004 [MPa] sedangkan area yang berwarna merah tegangan maksimal pada rangka dengan nilai 5,515 [MPa]. Sedangkan tegangan yang diijinkan oleh material SS 400 adalah 245 [MPa]. maka *design* rangka aman digunakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil proses perancangan dan pengujian pada mesin *shaker* yang memiliki dimensi 682 mm x 450 mm x 528 mm ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

a. Komponen mesin *shaker jerrycan* yang terpilih adalah

1) Motor

Listrik

QTY :

1 [pcs]

- *Weight* : 5 [kg]
- *Voltage* : 220 [Volt]
- *Frequency* : 50/60 [Hz]
- *Daya* : 0,5 [Hp]
- *Rated Speed* : 1330 [rpm]
- Dilengkapi Saklar

2) Rangka

- Material: Besi Holow Kotak SS 400
- 3) Box Sampel kanan kiri
- Material: *Mild Steel*
 - Dilengkapi clam sebagai pengikat *box* sampel dengan poros
- 4) Poros
- Material: S 45C
- 5) Engkol Eksentrik
- Material: S 45C
 - Berpasangan dengan joint ball
- 6) Tranmisi
- Menggunakan Pulley 1 : 3
 - Belt dengan type A 29
- b. Mesin shaker ini aman bisa mengefisiensikan waktu penghomogenan sampel jerrycan yang tadinya bisa menghabiskan waktu selama > 900 detik per sampel menjadi 300 detik per 2 sampel.
- c. Dengan menggunakan mesin shaker ini mengurangi campur tangan manusia dalam penghomogenan sampel cat CED (otomasi).

Saran

- a. Dari hasil uji mesin *shaker* ini diperlukan bahan redaman pada rangka tumpuan bagian bawah agar saat proses penghomogenan rangka tidak ikut bergerak akibat proses getaran yang diakibatkan pengoperasian mesin shaker.
- b. Untuk menyempurnakan pembuatan mesin *shaker* perlu dibuatkan pengatur kecepatan motor, agar motor bisa di *setting* kecepatannya.
- c. Untuk pengecekan sampel terhomogen atau tidaknya hanya bisa dilakukan menggunakan *visual* setelah mesin *shaker* tersebut *off*, sebaiknya *box* sampel dibuat transparan agar saat proses bisa terlihat sampel tersebut homogen atau tidaknya.

Daftar Pustaka

- _____, Verein Deutscher Ingenieure : VDI 221, *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*, Mei 1993
- Beer, Ferdinand P., E Russel Johnston, Jr. (1985), *Mechanics of Materials*, Mc Graw-Hill, USA. Djoko W Karmiadji (2010). *Engineering Structural Static*. Universitas Pancasila. Jakarta.
- J. G. R.S Khurmi, (2005) *A Textbook of Machine Design*, New Delhi : Eurasia Publishing House (Pvt.) Ltd.
- Mindar Yuntoro.(2008), *Perancangan Alat Pengering Kertas Dengan Metode VDI 2221*. Jurnal. Universitas Mercubuana. Jakarta.
- M.Mracek, J. Wallaschek. (2005) "A system for powder transport based on piezoelectrically excited ultrasonic progressive waves", *Materials Chemistry and Physics* 90, pp. 378– 380,
- Shigley, J.E., Mitchell, L.D., (1996), *Standard Handbook Of Machine Design*, 2nd ed. McGraw- Hill
- Shigley, J.E., Mitchell, L.D., (1986), *Perencanaan Teknik Mesin*, Erlangga, Jakarta
- Sularso, Kiyokatsu Suga (2004), *Dasar Perencanaan dan Pemilihan-Element Mesin*, edisi sebelas PT Pradnya Paramita, Jakarta