

RANCANG BANGUN KONSTRUKSI GRINDER PADA BALL MILL MACHINE UNTUK PROSES HOMOGENISASI BLACK POWDER DENGAN MENGGUNAKAN AUTOMATIC SYSTEM

Arif Setiawan¹⁾, Dedy Pradigdo²⁾, Farid Hendro Wibowo³⁾

¹⁾Jalan Raya Anggrek Desa Pendem Kecamatan Junrejo, Batu
Jurusan Teknik Mesin Prodi D4 Teknik Otoranpur Poltekad Kodiklatad

²⁾Kelompok Dosen Poltekad Jurusan Teknik Mesin

arifs8650@gmail.com¹⁾, dedypradigdo@gmail.com²⁾, faridhendr@gmail.com³⁾

ABSTRAK

Teknologi pertempuran pada dunia militer telah mengalami perkembangan yang sangat pesat baik pertempuran jarak dekat maupun pertempuran jarak jauh. Pertempuran jarak jauh identik dengan senjata roket dimana roket bekerja karena adanya igniter yang berfungsi untuk membakar propelan sehingga saat propelan terbakar akan menghasilkan tekanan yang akan mendorong roket meluncur menuju sasaran yang telah ditentukan. Igniter sangat berperan penting dalam peluncuran roket dimana isian dari igniter adalah black powder yang selama ini susah didapatkan karena proses pembuatannya yang sulit dan beresiko ledakan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah alat yang dapat memproduksi black powder dengan kapasitas cukup besar dan berkualitas baik serta mengurangi resiko ledakan sehingga dapat mendukung pembuatan igniter guna peluncuran roket khususnya yang dimiliki TNI AD. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimen murni dengan perhitungan secara empiris untuk mendapatkan alat dengan spesifikasi yang diinginkan. Hasil yang didapat setelah dilakukan perhitungan yaitu volume tabung prisma octagonal 2942,5 cm³, volume total bola baja dengan dua variasi ukuran adalah 979,5 cm³, lendutan maksimum yang terjadi pada poros pemutar 0,108 mm sehingga dikatakan aman.

Kata Kunci : Rocket, Igniter, Black Powder, Bola Baja.

DESIGN A GRINDER CONSTRUCTION OF A BALL MILL MACHINE FOR THE PROCESS OF HOMOGENIZING BLACK POWDER USING AN AUTOMATIC SYSTEM

ABSTRACT

Combat technology in the military world has undergone a very rapid development in both close combat and long-range combat. Long-range combat is identical to a rocket weapon where the rocket works because of the presence of an igniter that serves to burn the propellant so that when the propellant burns it will produce pressure that will push the rocket hurtling towards a predetermined target. Igniter is very important in the launch of rockets where the filling of the igniter is black powder that has been difficult to obtain because of the difficult manufacturing process and risk of explosion. This research aims to design a tool that can produce black powder with a large enough capacity and good quality and reduce the risk of explosions to support the manufacture of igniters for rocket launches, especially those owned by Indonesian Army. This research used pure experimental quantitative method with empirical calculations to obtain tools with the desired specifications. The results obtained after the calculation are the volume of octagonal prism tubes 2942.5 cm³, the total volume of steel balls with two size variations is 979.5 cm³, the maximum lendutan that occurs on the shaft of the player is 0.108 mm, so it is said to be safe.

Keywords: Rocket, Igniter, Black Powder, Steel Ball.

I. PENDAHULUAN

Pada dunia militer teknologi pertempuran telah mengalami perkembangan yang sangat pesat baik pertempuran jarak dekat maupun pertempuran jarak jauh (Prasetyo, 2020). Pertempuran jarak jauh identik dengan senjata roket dimana roket bekerja karena adanya *igniter* yang berfungsi untuk membakar propelan sehingga saat propelan terbakar akan menghasilkan tekanan yang akan mendorong roket meluncur menuju sasaran yang telah ditentukan (Supriyatno, 2009). Propelan adalah bahan bakar atau bahan baku isian roket yang berfungsi sebagai peledak atau pendorong roket yang diakibatkan oleh reaksi kimia. Propelan terdiri dari beberapa jenis yaitu propelan cair dan propelan padat, dimana propelan padat dibagi menjadi dua yaitu propelan homogen (isian munisi kaliber kecil) dan propelan heterogen (isian roket), salah satu bahan baku propelan heterogen untuk isian roket adalah *black powder* (Hartaya, 2015).

Black powder merupakan campuran secara fisis melalui proses penggilingan antara potasium nitrat (KNO_3), bubuk karbon (*charchoal*) dan belerang. *Black powder* digunakan sebagai bahan isian *igniter* (*igniter main charge*) untuk pembakaran propelan pada motor roket (Supriyatno, 2009).

Dalam pengembangan penelitian roket padat, di Laboratorium balistik Poltekad telah dilakukan percobaan pembuatan *black powder* dengan cara manual yaitu dengan cara ditumbuk dan menggunakan mesin dengan kapasitas kecil sehingga dalam pembuatan *black powder* perlu proses yang berulang-ulang dan memakan waktu yang lama, selain itu putaran yang tidak konstan dari

mesin yang sudah ada mengakibatkan *black powder* yang dihasilkan kurang berkualitas.

Dengan adanya kendala-kendala dalam proses pembuatan *black powder* tersebut perlu adanya suatu alat atau mesin yaitu *ball mill machine* dengan kapasitas yang besar (2 kg) dan dengan putaran yang konstan (60-70 rpm).

Ball mill machine merupakan salah satu jenis alat atau mesin penggiling yang berbentuk silinder yang berfungsi untuk menggiling material kasar menjadi material yang halus (Darma, 2019). *Ball mill machine* harus dirancang dengan konstruksi yang tepat agar mendapatkan hasil efisiensi kerja dan *black powder* yang dihasilkan memiliki kualitas yang sangat baik untuk isian *igniter* dan isian roket.

II. METODE PENELITIAN

1. Tempat dan Waktu Penelitian.

- a. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di bengkel mekanik Poltekad dan UD Blimbing Jaya Malang.
- b. Penelitian ini dilakukan selama 9 bulan, mulai dari bulan Maret sampai dengan bulan November 2021.

2. Metode Penelitian. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mendapatkan data kuantitatif untuk membuktikan data kualitatif dari hipotesis. Pembuktian data kualitatif dari hipotesis dilakukan dengan perhitungan melalui rumus-rumus terkait sehingga hasilnya dapat dipertanggungjawabkan.

3. Instrumen Penelitian. Pada penelitian ini, terdapat beberapa instrumen penelitian seperti variabel yang digunakan untuk mendukung proses penelitian. Beberapa variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Variabel Bebas. Variabel yang ditentukan sendiri oleh peneliti. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah :

- 1) Kapasitas maksimal bahan *black powder* 2 kg.
- 2) Diameter tabung *grinder* 22 cm.
- 3) Bahan tabung PVC (*Polyvinyl chloride*).
- 4) Putaran tabung *grinder* 70 rpm.

b. Variabel Terikat. Variabel yang bergantung pada variabel bebas. Adapun variabel terikat yang digunakan sebagai berikut :

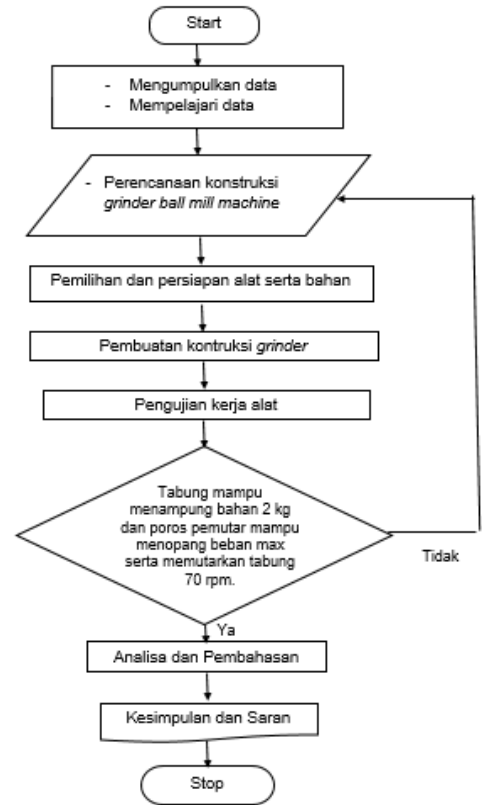
- 1) Daya tampung tabung *grinder*.
- 2) Kekuatan poros pemutar.
- 3) Putaran poros pemutar.

4. Desain Alat. Dalam mendukung proses penelitian dan perencanaan alat ini, maka dibutuhkan desain alat. Adapun desain alat sebagai berikut :



Gambar 1. Desain Alat *Ball Mill Machine*.

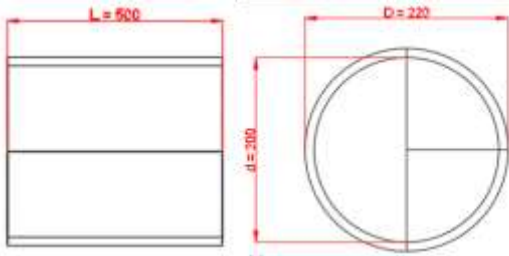
5. Digram Alir Penelitian.



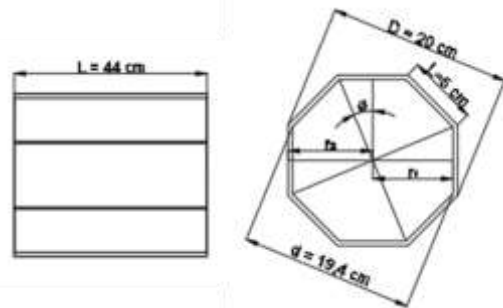
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

III. PEMBAHASAN

1. Perhitungan Dimensi dan Kapasitas Tabung. Tabung pada *Ball mill machine* direncanakan menggunakan dua lapisan tabung dimana tabung pada lapisan pertama berbentuk silinder kemudian didalamnya terdapat tabung berbentuk prisma oktagon (segi 8) menggunakan bahan PVC (*polyvinyl chloride*) dengan densitas 1,3 g/cm³. Adapun perhitungannya sebagai berikut :



Gambar 3. Dimensi Tabung Silindris



Gambar 4. Dimensi Tabung Oktogonal

a. Perhitungan Dimensi Tabung.

1) Volume Tabung Silinder.

$$\begin{aligned} V &= \pi \cdot L \cdot (r_1^2 - r_2^2) \\ &= 3,14 \cdot 50 \text{ cm} \cdot (11^2 - 10^2) \\ &= 3927 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

2) Berat tabung silinder.

$$\begin{aligned} W_1 &= \rho \cdot V \\ &= 1,3 \text{ g/cm}^3 \cdot 3297 \text{ cm}^3 \\ &= 4286,1 \text{ g} = 4,3 \text{ kg} \end{aligned}$$

3) Jari-jari Prisma Segi 8.

$$\begin{aligned} r_1 &= \sqrt{d^2 - \frac{l^2}{4}} \\ &= \sqrt{20^2 - \frac{5^2}{4}} \\ &= 19,843 \text{ cm} \\ r_2 &= \sqrt{d^2 - \frac{l^2}{4}} \\ &= \sqrt{19,4^2 - \frac{5^2}{4}} \end{aligned}$$

$$= 19,238 \text{ cm}$$

4) Luas Permukaan Tabung Prisma Segi 8.

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} \cdot n \cdot (r_1^2 - r_2^2) \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{360}{n}}\right) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 8 \cdot (19,843^2 - 19,238^2) \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{360}{8}}\right) \\ &= 66,875 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

5) Volume Tabung Prisma Segi 8.

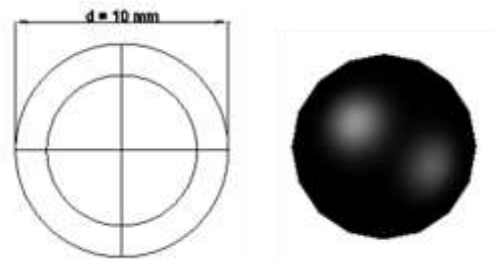
$$\begin{aligned} V &= A \cdot L \\ &= 66,875 \text{ cm}^2 \cdot 44 \text{ cm} \\ &= 2942,5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

6) Berat Tabung Prisma Segi 8.

$$\begin{aligned} W_2 &= \rho \cdot v \\ &= 1,3 \text{ g/cm}^3 \cdot 2942,5 \text{ cm}^3 \\ &= 3825,25 \text{ g} = 3,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Kapasitas Tabung.

1) Volume Bola Baja Ukuran 10 mm.



Gambar 5. Dimensi Bola Baja

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot n \\ &= \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,5^3 \text{ cm} \cdot 500 \text{ butir} \\ &= 261,5 \text{ cm}^3 = 0,0002615 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2) Berat Bola Baja Ukuran 10 mm.

$$\begin{aligned} W_a &= \rho \cdot v \\ &= 8000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0002615 \text{ m}^3 \\ &= 2,092 \text{ kg} \end{aligned}$$

3) Volume Bola Baja Ukuran 14 mm.

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot n \\ &= \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,7^3 \text{ cm} \cdot 500 \text{ butir} \\ &= 718 \text{ cm}^3 = 0,000718 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- 4) Berat Bola Baja Ukuran 14 mm.

$$\begin{aligned} W_b &= \rho \cdot v \\ &= 7700 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,000718 \text{ m}^3 \\ &= 5,53 \text{ kg} \end{aligned}$$

- 5) Massa *Black Powder*.

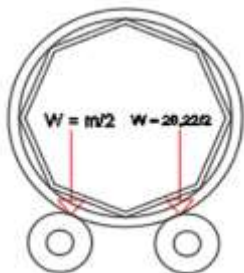
$$\begin{aligned} m &= \rho \cdot V \\ &= 2,11 \text{ g/cm}^3 \cdot 2942,5 \text{ cm}^3 \\ &= 6208,675 \text{ g} = 6,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

- 6) Kapasitas Bahan *Black Powder*.
Kapasitas *black powder* yang direncanakan harus dapat ditampung oleh 1/3 volume tabung.

$$\begin{aligned} \Sigma \max &= m \cdot 1/3 \\ &= 6,2 \text{ kg} \cdot 1/3 \\ &= 2,07 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dengan demikian tabung *grinder* yang direncanakan dikatakan mampu menampung bahan *black powder* dengan kapasitas 2 kg.

2. Perhitungan Poros Pemutar. Pada *ball mill machine* ini dilengkapi dengan dua buah poros pemutar untuk memutar tabung pada saat bekerja. Poros pemutar terbuat dari bahan besi st41 dan HDPE yang disusun bertingkat dan ditambahkan karet O-ring untuk mengurangi resiko slip.. Adapun perhitungannya sebagai berikut :



Gambar 6. Pembebanan pada Poros

- a. Gaya pada Poros Pemutar.

$$\begin{aligned} F &= m \cdot g \\ &= 14,111 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 138,43 \text{ N} \end{aligned}$$

- b. Torsi pada Poros Pemutar.

$$\begin{aligned} T &= F \cdot r \\ &= 138,43 \text{ N} \cdot 31,25 \text{ mm} \\ &= 4325,9 \text{ Nmm} = 4,3259 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- c. Diameter Poros Pemutar.

$$\begin{aligned} T &= \frac{\pi}{16} \cdot \tau \cdot d^3 \\ d^3 &= \frac{T}{\frac{\pi}{16} \cdot \tau} \\ &= \frac{4325,9 \text{ Nmm}}{\frac{\pi}{16} \cdot 566,62 \text{ N/mm}^2} = 38,9 \text{ mm} \\ d &= \sqrt[3]{38,9} \text{ mm} \\ &= 6,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dihadapkan dengan susunan poros yang bertingkat dengan bahan yang berbeda dan penyesuaian dengan diameter dalam poros bahan HDPE dan *pulley* maka pada alat menggunakan poros berdiameter 25 mm.

- d. Momen Inersia pada Poros.

$$\begin{aligned} I &= (\pi \cdot c^4)/4 \\ &= (3,14 \cdot 12,5^4)/4 \\ &= 19165,04 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- e. Momen Lentur Poros Pemutar.

$$\begin{aligned} M &= F \cdot L \\ &= 138,43 \text{ N} \cdot 620 \text{ mm} \\ &= 85825,9 \text{ Nmm} = 85,8259 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- f. Tegangan Lentur Poros Pemutar.

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{M \cdot c}{I} \\ &= \frac{85825,9 \text{ Nmm} \cdot 12,5 \text{ mm}}{19165,04 \text{ mm}^4} \\ &= 55,978 \text{ N/mm}^2 = 55,978 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- g. Lendutan Maksimum Poros Pemutar.

$$\delta = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5 \cdot \frac{F}{L} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \\
 &= \frac{5 \cdot \frac{138,43 \text{ N}}{620 \text{ mm}} \cdot 620^4 \text{ mm}}{384 \cdot 207000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 19165,04 \text{ mm}^4} \\
 &= \frac{5 \cdot 0,223 \text{ N/mm} \cdot 620^4 \text{ mm}}{384 \cdot 207000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 19165,04 \text{ mm}^4} \\
 &= 0,108 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

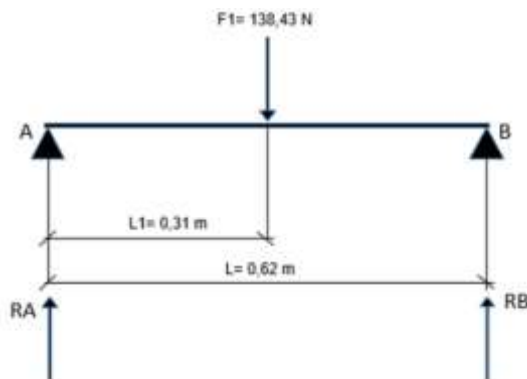
h. Momen Maksimum Poros Pemutar.

$$\begin{aligned}
 M_m = 0,108 \text{ mm}_{ax} &= \frac{w \cdot L^2}{8} \\
 &= \frac{0,223 \text{ N/mm} \cdot 620^2 \text{ mm}}{8} \\
 &= 10715,15 \text{ Nmm} = 10,71515 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

i. Putaran Poros Pemutar. Output putaran poros harus dapat memutar tabung dengan kecepatan yang diinginkan 70 rpm, maka putaran poros pemutar dapat diketahui dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{N_2}{N_1} &= \frac{d_1}{d_2} \\
 N_2 &= \frac{N_1 \cdot d_1}{d_2} \\
 &= \frac{70 \text{ rpm} \cdot 22 \text{ cm}}{6,25 \text{ cm}} = 246 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

j. Gaya Reaksi Tumpuan pada Poros.



Gambar 7. Pembebanan pada Poros

Sehingga gaya reaksi pada titik A dan B adalah:

$$\Sigma M_A = \Sigma M_B = 0$$

$$-R_B \cdot L + F \cdot L_1 = 0$$

$$-R_B \cdot 0,62 \text{ m} + 138,43 \text{ N} \cdot 0,31 \text{ m} = 0$$

$$-R_B \cdot 0,62 \text{ m} + 42,9 \text{ N} = 0$$

$$-R_B = \frac{42,9 \text{ Nm}}{0,62 \text{ m}}$$

$$R_B = 69,19 \text{ N}$$

Jadi gaya reaksi yang terjadi pada titik A dan B adalah 69,19 N.

3. Perhitungan Bantalan. Pada Penelitian ini bantalan yang direncanakan adalah bantalan gelinding tipe UCP 205 dengan diameter dalam 25,4 mm sebanyak empat buah untuk menopang poros pemutar.. Adapun perhitungan yang dilakukan sebagai berikut :

Tabel 1. Harga rata-rata koefisien gesek pada bearing

(Sumber : Deutschman, 1975 : 482)

No	Tipe Bearing	Statis		Selama Berputar	
		Radial	Aksial	Radial	Aksial
1	Ball Bearing	0,0025	0,0060	0,0015	0,0040
2	Spherical Roller Bearing	0,0030	0,1200	0,0018	0,0080
3	Cylindrical Roller Bearing	0,0020	---	0,0011	---

a. Beban Equivalen Dinamis Bantalan Radial.

Karena beban aksial tidak ada maka harga $F_a/(V \cdot F_r) \leq e$, jadi nilai $X = 1$ dan $Y = 0$.

$$\begin{aligned}
 P_r &= X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a \\
 &= 1 \cdot 1 \cdot 138,43 \text{ N} + 0 \cdot 0,0040 \\
 &= 138,43 \text{ N}
 \end{aligned}$$

b. Faktor Kecepatan Bantalan.

$$\begin{aligned}
 f_n &= \left(\frac{33,3}{n} \right)^{1/3} \\
 &= \left(\frac{33,3}{246} \right)^{1/3} = 0,5 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

c. Faktor Umur Bantalan.

$$\begin{aligned} F_h &= f_n \cdot C/Pr \\ &= 0,5 \text{ rpm} \cdot (138,43 \text{ N})/(138,43 \text{ N}) \\ &= 0,5 \end{aligned}$$

d. Umur Nominal Bantalan.

$$\begin{aligned} F_h &= f_n \cdot C/Pr \\ &= 0,5 \text{ rpm} \cdot (138,43 \text{ N})/(138,43 \text{ N}) \\ &= 0,5 \end{aligned}$$

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan. Dari hasil perhitungan perencanaan konstruksi *grinder* pada *Ball Mill Machine* didapatkan hasil sebagai berikut :

- Konstruksi tabung *grinder* berbentuk prisma oktagon (segi 8) dengan volume 2942,5 cm³ mampu menampung bahan *black powder* dengan kapasitas 2 kg.
- Dengan bahan poros st41 ketika menerima beban maksimum 138,43 N lendutan maksimum yang terjadi 0,108 mm yang tergolong kecil maka dinyatakan aman.
- Berdasarkan perbandingan diameter poros tumpuan dan diameter tabung didapatkan putaran poros sebesar 246 rpm untuk memutar tabung *grinder* dengan kecepatan 70 rpm.

2. Saran.

- Diharapkan dalam perkembangan alat selanjutnya dapat memperbesar dimensi tabung agar dapat lebih banyak *black powder* yang dapat diproduksi.
- Untuk variasi bola baja dapat ditambahkan ukuran 8 mm dan 6 mm agar hasil dari proses penggilingan lebih halus dan berkualitas lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chusnul Azhari dan Bayu Priyanto, (2017). Pengaruh putaran mesin terhadap hasil serbuk lempung pada mesin penggiling bahan keramik dengan tujuan untuk mempermudah proses pekerjaan penggilingan.
- [2] Mitra Darma, (2019). Perancangan mesin bola penghancur (*ball mill*)
- [3] Kruglak and Moore, "*Basic Mathematics*".
- [4] Ir. Sularso, MS ME dan Kiyokatsu Suga. 2004, "Dasar-dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin", Pradnya Paramita Jakarta.
- [5] R.S. Khurmi dan J.K. Gupta. 2005, "*A Text Book of Machine Design*", *Eurasia Publishing House*, New Delhi.
- [6] TEDC Bandung, 1982, "Stasika", Bandung.
- [7] E.P. POPOV Edisi II. "Mekanika Teknik"