



Perancangan Mesin *Crushing* Sekrap Aluminium Dan *Sand Core* Guna Mengurangi *Loss Material* Di PT. X

Muhammad Rayhan Adri¹, Hamdi², dan Nugroho Eko Setijogiarto²

¹Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Abstrak

*PT. X merupakan produsen pipa yang menjadi komponen penunjang mesin kendaraan motor, pipa ini dibuat dari bahan baku Aluminium Ingot. Di dalam Pabrik ini, selain Aluminium Ingot, juga terdapat bahan baku utama lainnya seperti Pasir Resin, serta bahan baku pendukung produksi lainnya. Salah satu masalah yang terjadi di pabrik ini adalah terjadinya kerugian material selama proses produksi berlangsung. Material yang tergolong sebagai kerugian dalam kasus ini adalah Sekrap Aluminium yang tercampur dengan Sand Core (Pasir Resin) selama proses Hammering. Untuk mengatasi masalah ini, penulis merancang mesin *Crushing Sand Core* dengan Sekrap Aluminium. Perancangan Mesin ini merupakan kebutuhan industri sebagai alat pengelola limbah yang kurang teratur serta mudah dalam pengoperasiannya. Mesin ini merupakan gabungan dari dua prinsip mesin, yaitu mesin Roller Crusher dan mesin Pengayak Pasir. Mesin Roller Crusher berfungsi untuk menghancurkan bongkahan Sand Core guna mempermudah pemisahan kedua material tersebut. Dalam Desain terdapat proses penghancuran. Analisis Perhitungan terhadap desain Roller Crusher ini dilakukan untuk mengetahui berapa gaya, daya, torsi hingga putaran antar tiap komponen yang dibutuhkan untuk menghancurkan Sand Core agar mendapatkan spesifikasi dan dimensi baru dari setiap komponen mesin *Crushing* ini dan ada juga beberapa dimensi komponen didasarkan dengan referensi lain.*

Kata-kata kunci: Roller Crusher, Desain, Solidworks

Abstract

*PT. X is a pipe manufacturer which is a supporting component for motor vehicle engines, this pipe is made from Aluminum Ingot as raw material. In this factory, apart from Aluminum Ingots, there are also other main raw materials such as Resin Sand, as well as other production support raw materials. One of the problems that occur in this factory is the occurrence of material losses during the production process. The material classified as a loss in this case is Aluminum Scrap mixed with Sand Core (Resin Sand) during the Hammering process. To overcome this problem, the author designed a *Crushing Sand Core* machine with Aluminum Scrap. The design of this machine is an industrial requirement as a waste management tool that is less organized and easy to operate. This machine is a combination of two machine principles, namely the Roller Crusher machine and the Sand Sieving machine. The roller crusher machine functions to crush lumps of sand core to make it easier to separate the two materials. In Design there is a process of destruction. Calculation analysis of the Roller Crusher design is carried out to find out how much force, power, torque and rotation between each component is needed to crush the Sand Core in order to obtain new specifications and dimensions for each component of this *Crushing* machine and there are also several component dimensions based on other references.*

Keywords: Roller Crusher, Design, Solidworks

1. PENDAHULUAN

Sand Core

Sand Core adalah Pasir yang digunakan untuk membuat inti yang berfungsi sebagai cetakan untuk rongga suatu produk, *Sand Core* ini banyak jenis nya, umumnya yang digunakan adalah *Resin Coated Sand* atau disebut pasir *Croning* yang komponen utamanya yaitu Pasir Silika (SiO_2) yang dicampur dengan resin turan.

Pasir silika adalah salah satu jenis mineral yang tersusun atas kristal silika (SiO_2) dan selama proses pengedapan mengandung kotoran yang dikeluarkan. Silika berasal dari tanah aluvial yang dihasilkan oleh erosi batuan yang mengandung sejumlah besar mineral kuarsa (SiO_2) yang kemudian mengalami transpor alami yaitu air atau es dan kemudian mengendap lalu terakumulasi di cekungan (Danau, Pantai, dan lain-lain) (Yosua, 2021).

Aluminium Scrap

Aluminium Scrap merupakan sisa-sisa atau pecahan dari produk utama hasil Proses *Casting*, *Aluminium Scrap* ukurannya ada yang besar dan kecil, itu bergantung pada bagaimana bentuk jalur aluminium cair yang masuk ke *Mould* (Tabereaux, 2014).

Uji Tekan

Uji Tekan adalah suatu alat uji mekanik yang berguna untuk mengukur dan mengetahui kekuatan benda terhadap gaya tekan. Uji tekan ini memiliki kinerja yang baik dan berkualitas untuk mengetahui kekuatan benda. Biasanya uji tekan ini digunakan pada logam yang bersifat getas, karena alat uji tekan ini memiliki titik hancur yang terlihat jelas saat melakukan pengujian benda tersebut (Fortuna, 2020).

Universal Testing Machine adalah alat uji yang memiliki fungsi untuk mengetahui kekuatan tarik dan digunakan untuk melakukan uji lengkung (*Bending Test*) suatu material. Alat ini digunakan untuk Pengujian Tarik, Uji Tekan, Uji Lengkung, *Nick Break Test*, *Adhesion Test* dan lain-lain (Achmadi, 2021).

Rangka

Rangka adalah struktur datar yang terbuat dari beberapa batang yang dihubungkan satu sama lain di ujungnya, membentuk Rangka yang kuat. Konstruksi Rangka bertujuan untuk menopang beban atau gaya yang diterapkan pada sistem tersebut. Beban itu harus didukung dan ditempatkan pada posisi tertentu pada rangka agar dapat ditopang (Kusumo, 2017).

Mesin Roller Crusher

Roller Crusher merupakan sebuah alat industri dengan sistem gilas *Rotary* yang digunakan untuk menghancurkan material-material seperti kerikil, batuan, nikel dan mineral lainnya menjadi serpihan-serpihan halus yang dapat diatur ketebalannya melalui penggunaan *Double Roller Crusher*. *Roller Crusher* memiliki perbandingan Maksimum pengurangan teoritis 4:1. Prinsip kerja dari *Roller Crusher* adalah bahan atau batu akan dihancurkan oleh gaya yang dihasilkan oleh dua *Roller Crusher* yang berputar dalam arah yang berlawanan menuju ke bawah. Dengan kecepatan 300-350 RPM *Double Roll Crusher* memiliki kemampuan dalam menghancurkan berbagai jenis batuan (Wijayanto, 2019). Adapun rumus yang digunakan dalam menghitung daya motor listrik secara umum yaitu:

1. Torsi

$$T = F \times r \times \sin \theta$$

Dimana,

T = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

r = Jarak Gaya Dari Titik Pusat (m)

θ = Sudut ($^\circ$)

2. Daya Motor dan Kecepatan Putar

$$P = \frac{T \times 2\pi n}{60}$$

$$v = \frac{2\pi \times r}{t}$$

$$n = v \times \frac{60}{2\pi}$$

Dimana,

P = Daya Motor (kW)

T = Torsi (Nmm)

1. Rasio Kecepatan Pulley

Selama putaran terjadi rasio antar *Pulley* juga diperhatikan untuk menentukan berapa kecepatan serta diameter *Pulley*. Rumus utama dalam perhitungan perbandingan RPM dan diameter *Pulley* menurut (Khurmi & Gupta, 2005) yaitu sebagai berikut:

$$d_1 N_1 = d_2 N_2$$

Dimana,

d_1 = Diameter *Pulley* Penggerak (mm)

n_1 = RPM *Pulley* Penggerak (RPM)

d_2 = Diameter *Pulley* yang digerakkan (mm)

n_2 = RPM *Pulley* yang digerakkan (RPM)

2. Daya yang dipindahkan V-Belt

$$P = \frac{(T_1 + T_2)}{75} \times v$$

Dimana,

T_1 = Gaya Tegang Sabuk Kencang

T_2 = Gaya Tegang Sabuk Kendur

v = Kecepatan Linier V-Belt (m/s)

Software Solidworks

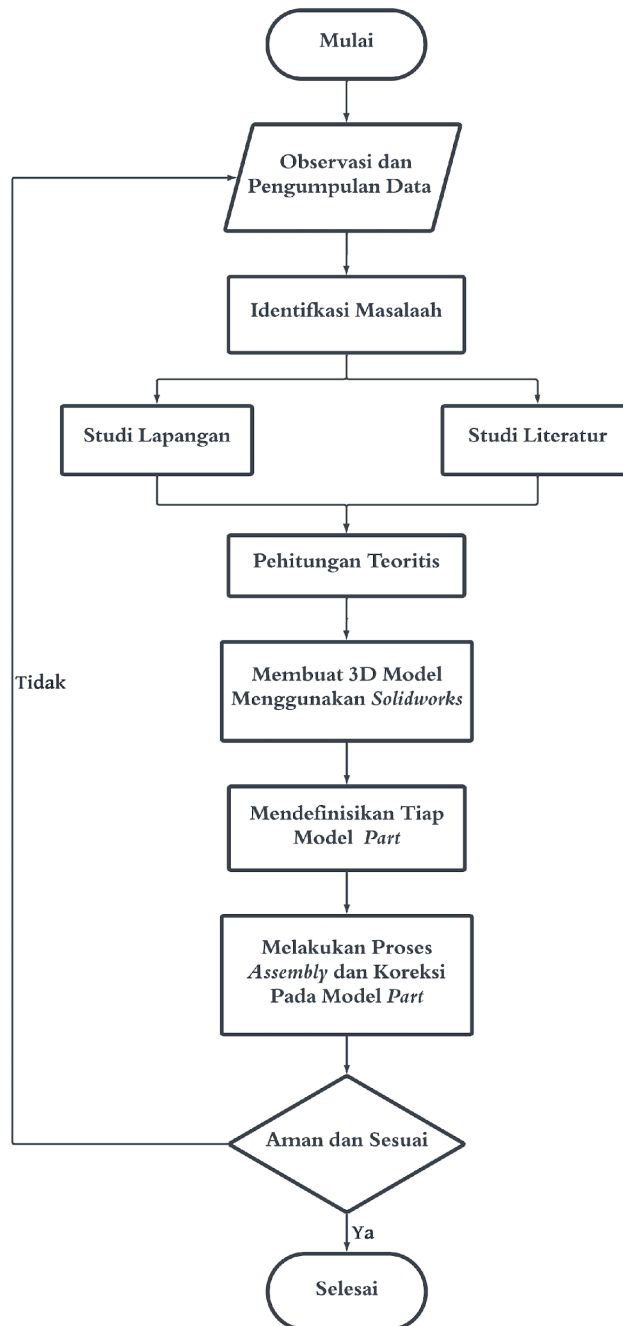
Solidworks adalah salah satu Software CAD (Computer Aided Design), Cam (Computer Aided Manufacturing), dan CAE (Computer Aided Engineering), yang dibuat oleh Dassault Systemes. Solidworks digunakan untuk mendesain Part mesin atau rangkaian Part mesin berupa Assembling dengan tampilan 3D untuk menampilkan Part sebelum Part nyata dibuat atau ditampilkan dalam tampilan 2D (Drawing) untuk gambar proses mesin (Prayoga, 2023).

Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik merupakan kemampuan suatu Material untuk menahan beban menyebabkan kerusakan pada bahan tersebut. Seringkali bila suatu Material memiliki sifat mekanik yang bagus tetapi kurang bagus pada sifat yang lain maka diambil tindakan untuk mengatasi kelemahan tersebut dengan berbagai cara (Suarsana, 2017).

2. METODE PENELITIAN

Pada proses pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Berikut merupakan diagram alir proses pengerjaan tugas akhir:



Berikut penjelasan dari *Flowchart* di atas:

Observasi dan Pengumpulan Data

Observasi merupakan tahap awal dalam melakukan penelitian dengan cara turun ke Lapangan untuk mengamati Area *Finishing* secara langsung terutama proses *Hammering*, ini bertujuan untuk mendapatkan informasi dan data yang akan dijadikan sebagai acuan yang nantinya akan diolah menjadi Model, Dimensi, Geometri dan membuat gambaran umum alat yang dibutuhkan menggunakan *Software* Desain.

Identifikasi Masalah

Setelah dilakukannya observasi dan berdasarkan laporan dari karyawan bahwa terdapat masalah pada Area *Finishing* Proses *Hammering* yang menghasilkan limbah *Sand Core* dan Sekrap Aluminium tercampur, dimana seharusnya Sekrap Aluminium ini bisa dilebur kembali agar menjadi bahan baku produk. Hal ini terjadi karena belum ada metode khusus dalam memisahkan *Sand Core* dan Sekrap Aluminium, ini juga menyebabkan masalah *Loss Material* dan limbah yang tidak terkelola.

Solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu dengan membuat metode khusus pemisahan *Sand Core* dan Sekrap Aluminium dengan cara merancang sebuah alat yang prinsipnya merupakan gabungan dua alat yang sudah ada sebelumnya yaitu Mesin *Roller Crusher* dengan Pengayak Pasir. Pada mesin ini perlu diperhatikan komponen apa saja yang digunakan agar saling berkaitan. Untuk Menghasilkan mesin yang sesuai, diperlukan perhitungan agar rancangannya sesuai dengan yang diinginkan sehingga dapat bekerja dengan baik.

Studi Lapangan dan Studi Literatur

Dalam mengatasi masalah yang sebelumnya sudah diidentifikasi, dilakukan studi lapangan yang bertujuan untuk mendapatkan informasi yang diperlukan. Pengamatan dilakukan dengan mengamati secara langsung proses kerja yang terkait dengan masalah yang ingin dipecahkan. Dengan melakukan studi lapangan dan mengumpulkan data yang diperlukan, informasi yang didapatkan akan menjadi dasar yang kuat dalam melakukan studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk memahami bagaimana prinsip kerja alat yang akan dibuat berdasarkan referensi yang sudah ada sebelumnya yang kemudian akan dibahas dan bisa menjadi solusi dari permasalahan.

Perhitungan Teoritis

Pada tahap ini dilakukannya perhitungan berdasarkan hasil observasi, pengumpulan dan referensi terkait permasalahan yang dibahas. Dalam perhitungan ini menggunakan rumus-rumus yang sesuai dengan teori terkait rancangan yang akan dibuat dan dibahas, perhitungan ini juga dilakukan secara bertahap agar mudah dipahami oleh orang banyak dan hasil yang didapatkan sesuai.

Membuat 3D Model menggunakan Solidworks

Setelah perhitungan sebelumnya dilakukan, didapatkan data tiap komponen alat yang akan dirancang baik itu dari segi dimensi, bentuk, dan gambaran sesuai dengan yang ada dipasaran akan dituangkan dalam bentuk 3D model menggunakan *Software Solidworks*. Dalam membuat 3D model ini akan dilakukan per *Part* yang selanjutnya akan di *Assembly* secara keseluruhan guna mendapatkan gambaran umum alat khusus *Crushing* sekrap aluminium dan *Sand Core*.

Mendefinisikan Tiap Model Part

Pada tahap ini akan dijelaskan bagaimana model dari setiap komponen alat yang digunakan, baik dari jenis, dimensi, dan pengaruh dalam alat khusus *Crushing* ini.

Melakukan Proses Assembly dan Koreksi Tiap Model Part

Setelah Setiap 3D Model *Part* selesai dibuat, selanjutnya melakukan proses *Assembly* dimana Setiap *Part* akan digabungkan menjadi satu sistem yang nantinya itu akan menjadi desain akhir dari alat khusus *Crushing*. Pada tahap ini juga nantinya akan ada koreksi terhadap 3D Model Alat yang dibuat atau bisa dikatakan *Improvement* yang bisa ditambahkan pada alat tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data tentang kekuatan yang dibutuhkan untuk memecahkan Material *Sand Core*, Pengujian ini dilakukan menggunakan Mesin Uji Tekan bernama *Tarno Grocki* dengan ketelitian 100 N yang nilai maksimalnya 50000 N di Laboratorium Teknik Mesin PNJ pada tanggal 13 Juni 2023. Berikut tabel data pengujian kekuatan yang dibutuhkan untuk menghancurkan *Sand Core*:

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Sand Core

No	Sample <i>Sand Core</i> Pejal	Gaya yang dibutuhkan untuk memecahkan <i>Sand Core</i> (N)
1	SC1	700 N
2	SC2	800 N
3	SC3	1400 N
4	SC4	1000 N
5	SC5	700 N
6	SC6	1100 N
7	SC7	1000 N
8	SC8	900 N
9	SC9	1200 N
10	SC10	800 N
Total Gaya		9600 N
Rata-Rata Gaya		960 N

Berdasarkan Tabel 1, didapatkan data berapa gaya yang dibutuhkan untuk menghancurkan sebuah Sand Core Pejal yaitu sebesar 960 N. Data yang sudah didapatkan ini akan menjadi informasi utama dalam menghitung Torsi pada Roller Crusher.

Perancangan Mesin Crushing

Dalam Perancangan ini, mekanisme penghancur *Sand Core* menggunakan daya dari Motor listrik sebagai sistem utama. Sistem ini dipilih karena Beban yang akan dihancurkan tergolong ringan dan berdasarkan sistem yang sudah digunakan di industri lain. Sistem Penghancur ini dirancang sesuai dengan permintaan pabrik yang komponen-komponen nya berasal dari material pabrik maupun dari pasaran yang tersedia. Berikut Komponen-komponen penyusun dalam sistem Penghancur *Sand Core*:

1. Roller Crusher
2. Roda Gigi
3. Bearing
4. Pulley
5. V-Belt
6. Motor Listrik
7. Poros dan Pasak
8. Rangka

Perhitungan Spesifikasi Motor Listrik

Untuk Menghitung Daya Motor Listrik (P) yang dibutuhkan perhitungan dimulai dari menghitung Torsi (τ) pada *Roller Crusher*. Pada Sistem Penghancur *Sand Core* ini terdapat data pendukung berupa gaya yang diperlukan untuk menghancurkan *Sand Core* sebesar 960 N, Jari-jari *Roller Crusher* 0,05 m, Kecepatan Putar *Pulley Roller Crusher* 350 RPM, Rasio Ukuran Diameter Pulley Motor Listrik dan *Pulley Roller Crusher* adalah 1 : 2.

1. Menghitung Torsi

Pada Tabel 4.1 telah didapatkan rata-rata gaya yang dibutuhkan untuk menghancurkan sebuah *Sand Core*. Dalam Perhitungan ini, Torsi dipengaruhi oleh Gaya (F), Jarak *Sand Core* ke pusat *Roller Crusher* (r) dan Sudut Masuk *Sand Core* (θ).

Dimana:

$$F = 960 \text{ N}$$

$$r = 0,05 \text{ m}$$

Perhitungan Torsi menggunakan persamaan:

$$\tau = 960 \text{ N} \times 0,05 \text{ m}$$

$$\tau = 48 \text{ Nm}$$

2. Daya Rencana Motor Listrik

Setelah mendapatkan Nilai Torsi (τ) dan data tentang kecepatan putar (n), langkah selanjutnya adalah menghitung daya motor listrik menggunakan Persamaan:

$$P = \frac{\tau \times 2 \pi n}{60}$$

$$P = \frac{48 \times 2 \pi 350}{60}$$

$$P = 1759,292 \text{ W} / 1,759 \text{ kW}$$

$$P = 2,358 \text{ HP}$$

Faktor koreksi yang digunakan adalah 1,2 karena daya maksimal.

$$P_d = f_c \times P$$

$$= 1,2 \times 1,759 \text{ kW}$$

$$= 2,111 \text{ kW}$$

$$= 2,83 \text{ HP}$$

Beban Pada Rangka *Roller Crusher*

1. Massa Setiap Komponen Pada Rangka *Roller Crusher*

Pada Bagian Rangka ini terdapat beberapa komponen serta massanya yaitu sebagai berikut:

Tabel 2. Massa Komponen Mesin dan Material pada Rangka *Roller Crusher*

No	Komponen	Jumlah	Massa (Kg)
1	<i>Hopper</i>	1	12,8 Kg
2	<i>Casing dan Corong Output</i>	1	10,26 Kg
3	Roda Gigi Lurus	2	2,56 Kg
4	<i>Pillow Block</i>	4	2,68 Kg
5	<i>Bearing</i>	4	0,52 Kg
6	<i>Roller Crusher dengan Pulley</i>	1	10,5 Kg
7	<i>Roller Crusher tanpa Pulley</i>	1	10,35 Kg
8	<i>Pulley Roller Crusher</i>	1	2,35 Kg
9	Pasak Roda Gigi	2	0,0156 Kg
10	<i>Pasak Pulley Crusher</i>	1	0,0127 Kg
11	Material <i>Sand Core</i> dan Sekrap Aluminium		50 Kg
Total			102,048 Kg

$$M_{\text{Total}} = 102,048 \text{ Kg}$$

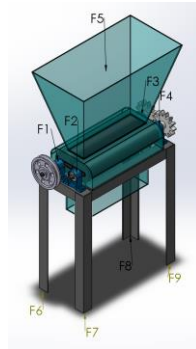
$$F_{\text{Total}} = M \times g$$

$$F_{\text{Total}} = 102,048 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{Total}} = 1005,33 \text{ N}$$

1. Perhitungan Beban yang bekerja pada Rangka

Gambar berikut memaparkan titik yang menjadi tumpuan beban semua komponen *Roller Crusher* pada Rangka. Selain tumpuan, terdapat juga titik yang menjadi gaya tahan yang diberikan oleh beban pada rangka.

Gambar 1 Distribusi Beban Pada Rangka *Roller Crusher*

Dari gambar diatas bisa dilihat bahwa Pendistribusian Beban terbagi menjadi 5 titik yaitu F1, F2, F3, F4 dan F5 yang ketika digabungkan menjadi F_{Total} . F6, F7, F8, dan F9 merupakan titik tahan oleh rangka. Untuk perhitungannya yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ F_{Total} &= (F6 + F7 + F8 + F9) \\ F_{Total} &= (94131,45 + 94131,45 + 94131,45 + 94131,45) \text{ N} \\ &1005,33 \text{ N} < 376525,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Beban Pada Rangka Motor Listrik

1. Massa Setiap Komponen Pada Rangka Motor Listrik

Pada Bagian Rangka ini terdapat beberapa komponen serta massanya yaitu sebagai berikut:

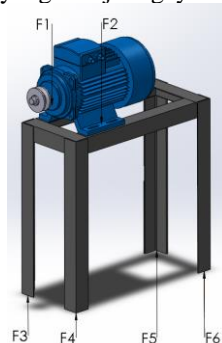
Tabel 3. Massa Komponen Mesin dan Material pada Rangka Motor Listrik

No	Komponen	Jumlah	Massa (Kg)
1	<i>Pulley</i> Motor Listrik	1	0,55 Kg
2	Pasak <i>Pulley</i> Motor Listrik	1	0,010 Kg
3	Sabuk V	1	0,127 Kg
4	Motor Listrik 2,2 kW	1	60 Kg
Total			60,687 Kg

$$\begin{aligned} M_{Total} &= 60,687 \text{ Kg} \\ F_{Total} &= M \times g \\ F_{Total} &= 60,687 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ F_{Total} &= 595,339 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Beban yang bekerja pada Rangka

Gambar berikut memaparkan titik yang menjadi tumpuan beban semua komponen *Roller Crusher* pada Rangka. Selain tumpuan, terdapat juga titik yang menjadi gaya tahanan yang diberikan oleh beban pada rangka.



Gambar 2 Distribusi Beban Pada Rangka Motor Listrik

Dari gambar diatas bisa dilihat bahwa Pendistribusian Beban terbagi menjadi 5 titik yaitu F1 dan F2 yang ketika digabungkan menjadi F_{Total} . F3, F4, F5, dan F6 merupakan titik tahan oleh rangka. Untuk perhitungannya yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ F_{Total} &= (F3 + F4 + F5 + F6) \end{aligned}$$

$$F_{\text{Total}} = (94131,45 + 94131,45 + 94131,45 + 94131,45) \text{ N} \\ 595,339 \text{ N} < 376525,8 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, nilai total beban lebih kecil dari nilai Tegangan Maksimal yang dapat ditopang oleh Besi Siku L. Maka dari itu, Rangka ini aman dan dapat menahan Beban sebesar 595,339 N.

4. KESIMPULAN

Spesifikasi Setiap Komponen Mesin *Crushing*

Berdasarkan Hasil Perhitungan dan Pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa Spesifikasi Setiap Komponen Mesin *Crushing* sebagai berikut:

1. *Roller Crusher* yang digunakan Berbahan ST41/AISI 1018 dimana ini mengacu pada material yang tersedia di pasaran dengan ukuran poros sebesar 20 mm.
2. Motor Listrik yang digunakan berdasarkan katalog motology bertipe ME132S-8 memiliki daya sebesar 2,2 kW dengan kecepatan ± 700 RPM dan berat 60 Kg.
3. Sabuk V berfungsi untuk meneruskan daya dari motor listrik ke *Pulley Roller* yang digunakan pada sistem transmisi mesin *Crushing* menggunakan sabuk tipe B yang memiliki panjang 995,616 mm dengan material *Rubber*.
4. Roda gigi berfungsi untuk meneruskan daya dari salah satu *Roller* ke *Roller* menggunakan tipe lurus dengan modul 8, jumlah gigi 13, dan lebar gigi 20 mm yang terbuat dari material ASSAB 705. Dikarenakan kecepatan putar yang dibutuhkan sama, maka kedua roda gigi menggunakan perbandingan 1:1 yang dimana antara roda gigi memiliki spesifikasi yang sama.
5. Pasak berfungsi untuk menghubungkan atau mengunci komponen elemen mesin yang berputar, pasak yang digunakan berasal dari material baja ST42 dan memiliki spesifikasi lebar (w) 5mm, tebal (t) 5 mm. Untuk panjangnya (l) memiliki ukuran yang berbeda-beda, pada Roda Gigi 40 mm, pada *Pulley Roller* 65 mm dan untuk *Pulley* motor listrik 55 mm.
6. *Bearing* yang digunakan berdasarkan katalog SKF bertipe *Single Row Deep Groove Ball Bearings* dengan Ukuran diameter poros 20 mm yang memiliki Batas beban 0,28 kN.
7. Rangka yang digunakan untuk menopang semua komponen mesin *Crushing* menggunakan Besi Siku L dengan ukuran 50 mm \times 50 mm \times 4 mm yang terbuat dari material SS400.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Dosen Pembimbing Bapak Hamdi dan Bapak Nugroho Eko, serta Pak Iqbal dan Pak Rian dari bagian Produksi yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan saran yang baik dan membangun. Selain itu, penulis juga berterima kasih kepada seluruh pihak yang ambil bagian dalam penyusunan tugas akhir ini.

6. REFERENSI

1. Achmadi. (2021). *Universal Testing Machine*. <https://www.pengelasan.net/universal-testing-machine/>
2. Fortuna, D. F. (2020). *Apa yang dimaksud dengan Uji Tekan?* <https://www.dictio.id/t/manufaktur-apa-yang-dimaksud-dengan-uji-tekan/146382>
3. Khurmi, *, & Gupta, R. S. J. K. A. (2005). *Machine Design*.
4. Kusumo, W. (2017). *Pengertian Rangka*. <https://docplayer.info/45997574-Bab-ii-dasar-teori-2-1-pengertian-rangka.html>
5. Prayoga, Y. B. (2023). *Solidworks*. <https://vocasia.id/blog/solidworks-adalah/>
6. Suarsana. (2017). Pengetahuan Material Teknik Universitas Udayana. *Modul Pengetahuan Material Teknik*, 01–71. https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan_1_dir/2258fb8a46902e19c68aae1fe8c0b826.pdf
7. Tabereaux, A. T. R. D. P. (2014). *Aluminium Production*. 3, 839–917. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080969886000237>
8. Wijayanto, D. C. (2019). *Roll Crusher*. <http://domas09.blogspot.com/2013/02/roll-crusher.html>
9. Yosua, E. (2021). *Apa itu Pasir Silika?* <https://stellamariscollege.org/pasir-silika/>