

RANCANG BANGUN PADA *LINEAR SHIFTER MECHANISM* DENGAN MENGGUNAKAN *GEARLESS TRANSMISSION*

Agus Halim¹⁾, Didi Widya Utama¹⁾, Andy²⁾

¹⁾Staff Pengajar Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara
Jl. Let.Jen S.Parman No. 1 Jakarta 11440, Indonesia

²⁾Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara
e-mail: ¹⁾agush@ft.untar.ac.id ; ¹⁾didiu@ft.untar.ac.id ; ²⁾andy.tm@stu.untar.ac.id

Abstrak

Dengan meningkatnya persaingan dalam dunia industri yang semakin ketat maka dibutuhkan efisiensi yang lebih tinggi. Sebuah mekanisme linear shifter yang difungsikan untuk memindahkan balok kayu pada meja kerja sebagai pengumpan, salah satu alternatif yang lebih rendah biaya produksinya untuk memindahkan daya dan putaran adalah dengan menggunakan mekanisme gearless transmission sebagai pengganti roda gigi payung. Mekanisme walking beam ini bergerak secara simultan dengan pengumpan menggunakan sebuah motor penggerak yang di hubungkan dengan rangkaian rangka batang, perancangan ini menggunakan piranti lunak (CAD) Autodesk Inventor 2016 (Versi Edukasi) dan fungsi analisis metode elemen hingga (FEA). Dari proses perancangan, perhitungan, analisis, manufaktur, pengujian fungsi alat sampai dengan mendapatkan kesimpulan, daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan sistem adalah sebesar 10,1 W dengan kecepatan putaran 60 r/min. dengan diameter poros sebesar 10 mm, diameter batang elbow sebesar 8 mm. Dari hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat Linear Shifter Mechanism berhasil mengumpan dan memindahkan 6 buah balok dengan baik.

Kata kunci: linear shifter, gearless transmission, perancangan

PENDAHULUAN

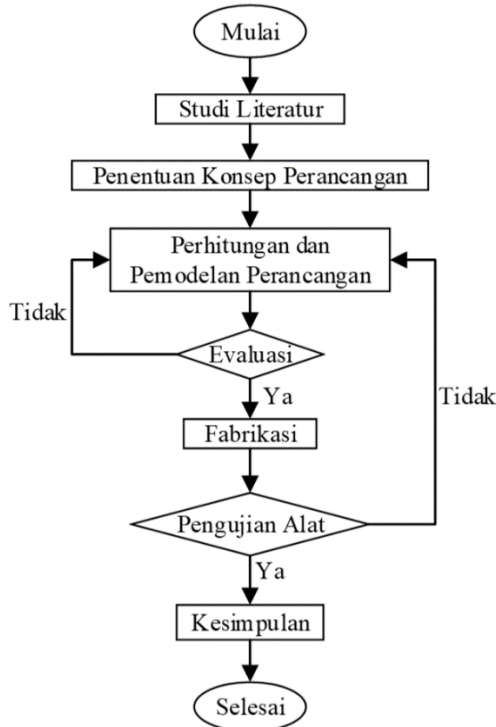
Dengan meningkatnya persaingan dalam dunia industri yang semakin ketat, maka dibutuhkan alat yang dapat bekerja secara simultan, untuk menghasilkan efisiensi kerja yang tinggi dengan biaya fabrikasi yang rendah. Atas konsep tersebut, alat *Linear Shifter Mechanism* dirancang. Alat ini menggunakan sebuah motor DC 12 V untuk menghasilkan dua gerakan pemindahan yang saling berpotongan (*intersection*) dengan memanfaatkan *gearless transmission*. *Gearless transmission* ini berfungsi untuk menggantikan fungsi *bevel gear* dengan biaya fabrikasi yang lebih rendah. *Gearless transmission* merupakan suatu mekanisme yang dapat mentransmisikan putaran dari satu poros ke poros lain dengan memanfaatkan *elbow-elbow* berbentuk khusus.[1] Jumlah *elbow-elbow* berpengaruh terhadap kinerja transmisi. Semakin banyak *elbow* yang digunakan, semakin mulus putaran yang dihasilkan. Namun, jumlah *elbow* juga tidak boleh terlalu banyak. Berdasarkan hasil FEA yang sudah pernah dilakukan, semakin banyak *elbow* yang digunakan, semakin besar beban gaya yang diterima *hub* sehingga dapat terjadi kerusakan *hub*. [2] Oleh karena itu, diperlukan analisis secara cermat agar *gearless transmission* dapat bekerja dengan baik. Gerakan pemindahan alat ini menggunakan *linkage mechanism* dan *walking beam mechanism* yang saling bersinkronisasi membentuk sebuah sistem pemindahan yang kontinu. Material yang akan dipindahkan alat ini adalah balok kayu dengan dimensi 100x100x18 mm dan massa 0,05 kg. Tujuan penelitian ini adalah merancang *gearless transmission* untuk menggerakkan sistem kedua sistem penggerak pada *Linear Shifter Mechanism*.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode matematis dan analitis, di mana perancangan yang dilakukan akan diperhitungkan kekuatannya dari segi konstruksi

dan dianalisis data yang ada untuk mendukung perhitungan yang ada. Hasil akhir perancangan berupa desain lengkap dengan dimensi yang sudah diperhitungkan dan data analisis terhadap *gearless transmission* dengan *von mises theory* menggunakan *software Autodesk Inventor*.

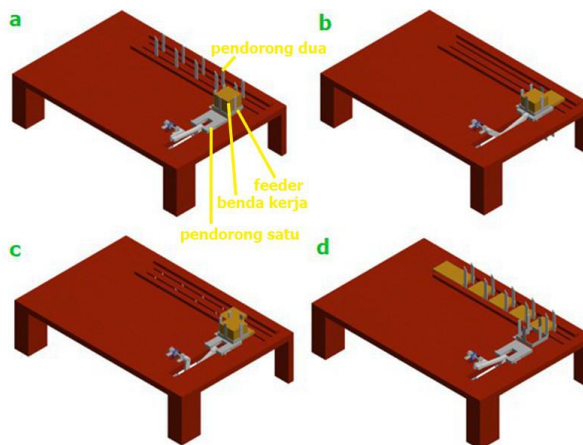
Flowchart proses perancangan yang dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. *Flowchart* Proses Perancangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam merancang suatu alat, keamanan dari konstruksi alat merupakan hal utama yang harus diperhatikan karena akan mempengaruhi umur pakai dari alat tersebut. Hal utama yang perlu dilakukan adalah menganalisis gaya-gaya beban yang bekerja dalam alat, kemudian menentukan *safety factor* untuk alat yang akan dibuat. Dari nilai *safety factor* dan beban kerja ini, maka dapat ditentukan ukuran dimensi konstruksi alat dan spesifikasi aktuator yang dibutuhkan. Berikut proses perhitungan matematis dan analisis yang dilakukan.

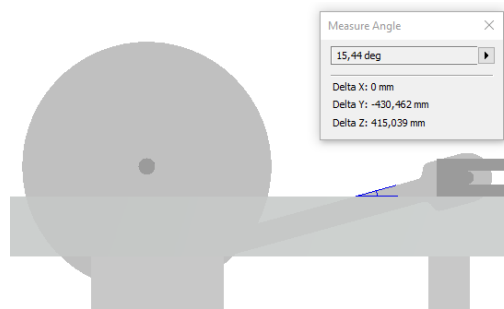


Gambar 2. Proses Pemindahan Benda Kerja

Berikut langkah kerja alat *Linear Shifter Mechanism*:

1. Motor DC dihubungkan ke *power supply*.
2. Nyalakan *switch*.
3. Sistem akan bekerja secara otomatis.
4. Proses kerja dimulai ketika pendorong satu mendorong benda kerja dari *feeder* ke pendorong kedua. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.a dan Gambar 2.b.
5. Pendorong dua akan melanjutkan proses pemindahan dengan mekanisme *walking beam*. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.c.
6. Pendorong dua akan terus memindahkan benda kerja secara bertahap sampai *feeder* kosong. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.d.
7. Matikan *switch* jika ingin menghentikan sistem.

Sebelum menentukan beberapa *part* penting seperti poros dan motor, perlu dilakukan perhitungan besar beban kerja yang terjadi terlebih dahulu sebagai patokan dalam menentukan spesifikasi dari *part* tersebut. Perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut:



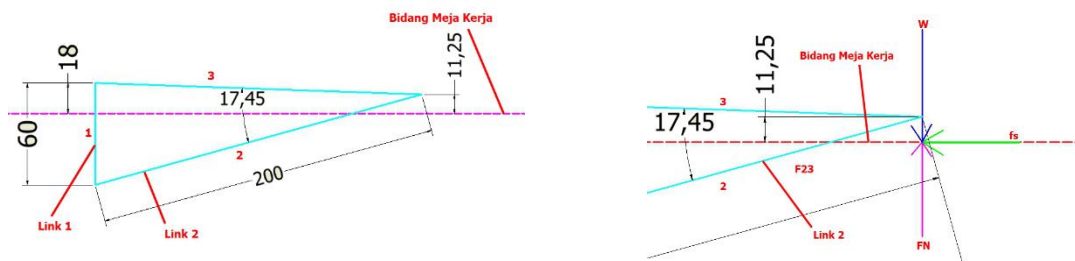
Gambar 3. Sudut Kerja Pendorong untuk Perhitungan Kinematika Gaya [4]

Diketahui data sebagai berikut:

Massa benda kerja = 0,05 kg
 Massa pendorong = 0,417 kg
 Massa *link* pendorong = 0,12 kg
 μ_S kayu dengan kayu = 0,5
 $\Theta = 15,44^\circ$

Berat benda kerja = 0,4905 N
 Berat pendorong = 4,1 N
 Berat *link* kedua = 1,1772 N
 μ_S POM dengan kayu = 0,35

Pendorong pertama



Gambar 4. Jarak Simpul Gaya pada Pendorong Pertama

Gaya berat = 0,4905 N + 4,1 N
 = 4,6 N

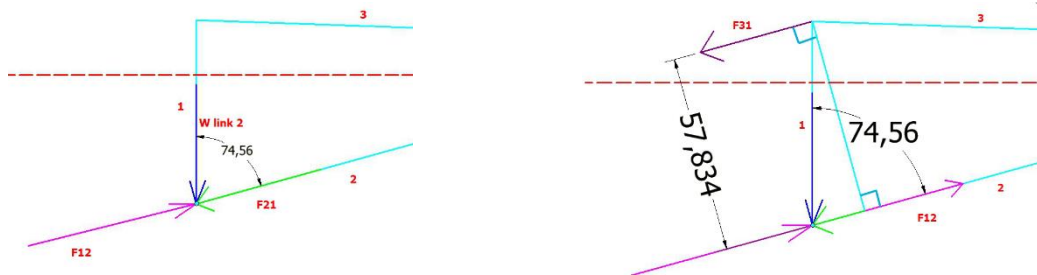
$\Sigma F_x = 0$
 $F_{x23} = f_s$

$F_{23} \cos(15,44) = f_s$
 $f_s = 0,96 F_{23}$

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 \\ W &= F_N + F_{y23} \\ 4,6 &= f_s / \mu_s \text{ kayu dengan kayu} + F_{23} \sin(15,44) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4,6 &= 0,96 F_{23} / 0,5 + 0,27 F_{23} \\ F_{23} &= 2,1 \text{ N} \end{aligned}$$

μ_s kayu dengan kayu yang dipakai karena μ_s kayu dengan kayu lebih besar dari μ_s kayu dengan POM. Jadi untuk keamanan perhitungan, μ_s kayu dengan kayu yang dipakai untuk kemudahan perhitungan juga.

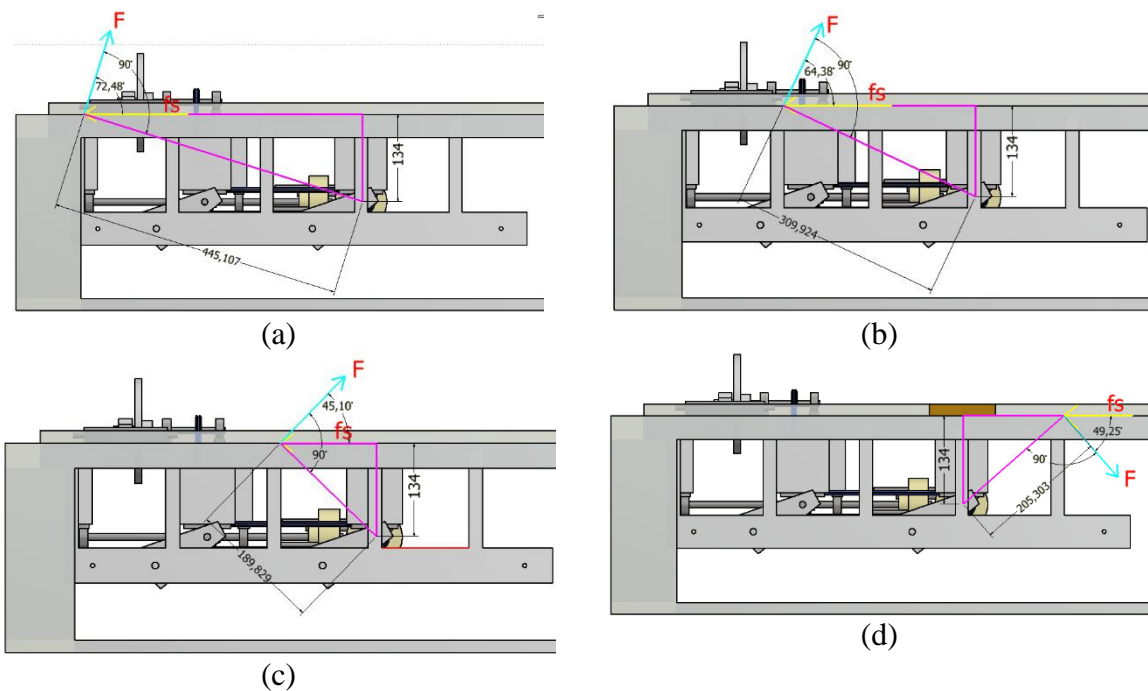


Gambar 5. Kinematika Gaya pada Pendorong Pertama

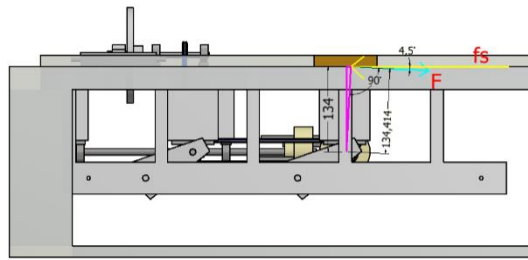
$$\begin{aligned} F_{23} &= F_{21} = 2,1 \text{ N} \\ \Sigma F_y &= 0 \\ F_{y12} &= F_{y21} + W \text{ link 2} \\ F_{12} \sin(90-74,56) &= F_{21} \cos(74,56) + 1,1772 \\ F_{12} &= 6,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Torsi pada pendorong pertama} &= F_{12} * 57,834 \text{ mm} \\ &= 393,2712 \text{ Nmm} \\ &= 0,4 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan torsi yang terjadi pada pendorong pertama sebesar 0,4 Nm. Sedangkan untuk mendapatkan torsi yang terjadi saat mekanisme *walking beam* memindahkan benda kerja dapat digambarkan sebagai berikut ini, dapat di cari nilai torsi yang terjadi pada pendorong kedua



Gambar 6. Data untuk Menghitung Torsi T₁ (a), T₂ (b), T₃ (c), T₄ (d), T₅ (e)



(e)

Lanjutan Gambar 6. Data untuk Menghitung Torsi T_1 (a), T_2 (b), T_3 (c), T_4 (d), T_5 (e)

$$\begin{aligned} f_s &= \mu_s \text{ kayu dengan kayu} \cdot F_N \\ &= 0,5 \cdot W_{\text{kayu}} \\ &= 0,25 \text{ N} \\ \Sigma F_x &= 0 \\ F_x &= f_s \\ F \cos(72,48) &= 0,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= 0,83 \text{ N} \\ T_1 &= F \cdot r \\ &= 0,83 \text{ N} \cdot 445,107 \text{ mm} \\ &= 369,44 \text{ Nmm} \\ &= 0,37 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 \\ F_x &= f_s \\ F \cos(64,38) &= 0,58 \text{ N} \\ F &= 0,58 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= F \cdot r \\ &= 0,58 \text{ N} \cdot 309,924 \text{ mm} \\ &= 179,76 \text{ Nmm} \\ &= 0,18 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 \\ F_x &= f_s \\ F \cos(45,10) &= 0,25 \text{ N} \\ F &= 0,354 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_3 &= F \cdot r \\ &= 0,354 \text{ N} \cdot 189,829 \text{ mm} \\ &= 67,2 \text{ Nmm} \\ &= 0,07 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 \\ F_x &= f_s \\ F \cos(4,5) &= 0,25 \text{ N} \\ F &= 0,251 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_4 &= F \cdot r \\ &= 0,251 \text{ N} \cdot 134,414 \text{ mm} \\ &= 33,74 \text{ Nmm} \\ &= 0,034 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= 0 \\ F_x &= f_s \\ F \cos(49,25) &= 0,25 \text{ N} \\ F &= 0,383 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_5 &= F \cdot r \\ &= 0,383 \text{ N} \cdot 205,303 \text{ mm} \\ &= 78,63 \text{ Nmm} \\ &= 0,079 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{pendorong 2}} &= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 \\ &= 0,733 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Torsi Total} &= T_{\text{pendorong 1}} + T_{\text{pendorong 2}} \\ &= 0,4 \text{ Nm} + 0,733 \text{ Nm} \\ &= 1,133 \text{ Nm} = 1133 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dengan di dapatkannya torsi total yang terjadi pada mekanisme ini maka dapat di lanjutkan perhitungan diameter poros minimum yang dibutuhkan untuk tercapainya kekuatan mekanisme penggerak ini yang dapat di hitung sebagai berikut ini.

Diameter Poros (Baja Karbon Medium 1025)
 $\sigma_{\text{yield}} = 370 \text{ MPa}$

$Safety Factor = 3$
 $\sigma_{\text{ijin}} = \sigma_{\text{yield}} / Safety Factor$
 $= 123,3 \text{ MPa}$

$$\tau_{ijin} = \sigma_{ijin} / \sqrt{3}$$

$$= 71,2 \text{ MPa}$$

$$T_{total} = 1133 \text{ Nmm}$$

$$ds = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot \tau}}$$

$$= 4,33 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm}$$

Diameter *Elbow* (*Stainless Steel* 304)

$$\sigma_{yield} = 215 \text{ MPa}$$

$$\text{Safety Factor} = 3$$

$$\sigma_{ijin} = \sigma_{yield} / \text{Safety Factor}$$

$$= 71,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ijin} = \sigma_{ijin} / \sqrt{3}$$

$$= 41,4 \text{ MPa}$$

$$T_{\text{pada elbow}} = T/4$$

$$= 283,25 \text{ Nmm}$$

Torsi dibagi 4 karena jumlah *elbow* ada 4.

$$ds = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot \tau}} = 3,27 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}$$

Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan mekanisme dan memindahkan benda dapat di hitung dengan persamaan berikut

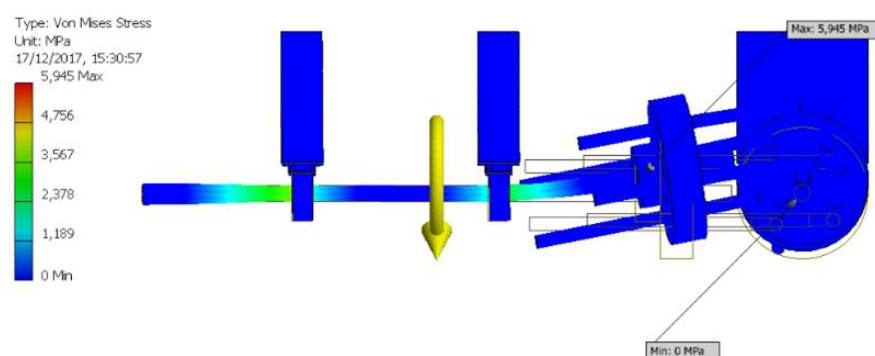
$$P = \tau \cdot 2 \cdot \pi \cdot n / 60$$

$$= 1,133 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 60 / 60$$

$$= 7,2 \text{ Watt}$$

FEA (*Finite Element Analysis*) dengan *Von Mises Theory*

Perhitungan matematis manual dengan menggunakan *normal stress theory* mungkin terjadi ketidakakuratan pada kasus tertentu. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis kegagalan dengan menggunakan *von mises theory*. Hasil *FEA* yang dilakukan dengan menggunakan *software* Autodesk Inventor dapat dilihat pada data di bawah.

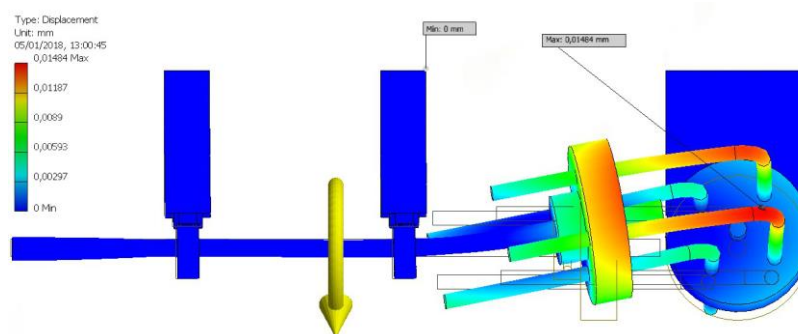


Gambar 7. *Von Mises Stress* pada *Gearless Transmission* [5]

Tegangan *von mises* maksimum yang terjadi pada poros penggerak yaitu 5,945 MPa. Nilai ini masih jauh dari tegangan luluh dari poros penggerak dengan material baja karbon medium 1025 yaitu 370 MPa . Jadi konstruksi poros dari alat ini masih dalam batas aman.

FEA terhadap *Displacement*

Displacement adalah perubahan posisi *part* dari tempat awal. Semakin besar nilai *displacement*, semakin tidak kokoh konstruksi yang didesain. Berikut *FEA* terhadap *gearless transmission* yang dilakukan:



Gambar 8. *Displacement* pada *Gearless Transmission*

Displacement maksimal yang terjadi adalah 0,01484 mm pada *elbow*. Nilai ini masih kecil dan dianggap aman untuk konstruksi. Dari data analisis ini, dapat dilihat bahwa *elbow* mengalami gaya terbesar ketika berada pada posisi dimana titik potong *elbow* berada paling jauh dari kedua *hub*.

Pemilihan Motor

Putaran dari motor ditransmisikan ke poros melalui transmisi rantai. Transmisi rantai ini akan menggunakan perbandingan $Z_p : Z_g = 1 : 2$ sehingga torsi dari motor diperbesar 2 kali. Peningkatan torsi ini dilakukan karena sistem kerja alat ini memerlukan torsi yang besar dan kecepatan putaran yang kecil. Kecepatan putaran yang terlalu tinggi dapat membuat proses pemindahan tidak teratur karena beban kejut dari gaya dorong yang terlalu besar dapat menyebabkan benda kerja terlempar.

Berdasarkan perhitungan matematis yang dilakukan, didapatkan nilai torsi total sebesar 1,133 Nm. Dengan transmisi rantai yang dilakukan, maka torsi motor yang dibutuhkan hanya sebesar setengahnya yaitu 0,5665 Nm. Berdasarkan angka torsi ini, maka dipilih motor dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V &= 12 \text{ V} \\ n &= 322 \text{ r/min} \\ T &= 9 \text{ kg.cm} = 90 \text{ kg.mm} = 0,9 \text{ Nm} \end{aligned}$$

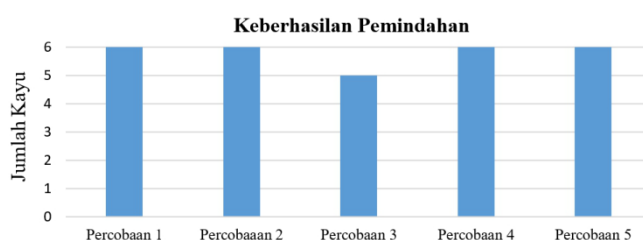
Dari data tersebut, dapat dicari daya yang dapat diterima motor tersebut yaitu:

$$\begin{aligned} P &= T \cdot \omega \\ &= 0,9 \text{ Nm} \cdot \frac{2\pi n}{60} \\ &= 30,35 \text{ W} \end{aligned}$$

Dimana:

- P : daya (Watt)
- T : torsi (Nm)
- ω : kecepatan sudut (rad/s)
- n : kecepatan putaran (r/min)

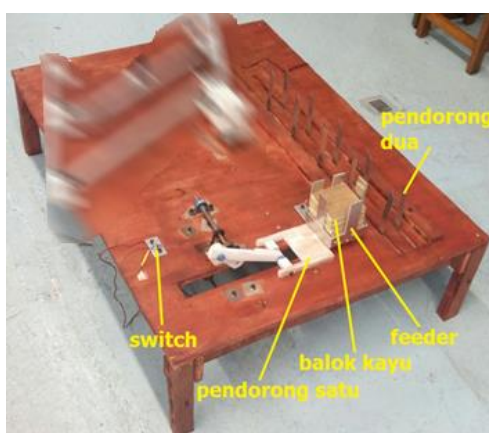
Pengujian alat (testing) dilakukan dengan mengukur jumlah keberhasilan pemindahan 6 buah benda kerja terhadap 5 percobaan yang dilakukan. Berikut grafik hasil pengujian keberhasilan pemindahan yang dilakukan:



Grafik 1. Grafik Keberhasilan Pemindahan

Dari grafik di atas, dapat disimpulkan bahwa alat *Linear Shifter Mechanism* dapat melakukan pemindahan 6 buah balok dengan baik dengan satu kegagalan dari 5 kali percobaan.

Berikut hasil rancang bangun alat *Linear Shifter Mechanism* yang dilakukan:



Gambar 9. Hasil Rancang Bangun Alat *Linear Shifter Mechanism*

SIMPULAN

Dari data-data perhitungan dan analisis di atas, maka dapat disimpulkan bahwa *gearless transmission* berhasil mentransfer daya dari motor DC menuju kedua penggerak sehingga kedua mekanisme pendorong dapat bekerja dengan sinkron. Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan sistem adalah sebesar 10,1 W dengan kecepatan putaran 60 r/min. Material poros yang digunakan adalah Baja Karbon Medium 1025 dengan diameter 10 mm. Material *Elbow* yang digunakan adalah *Stainless Steel 304* dengan diameter 8 mm. Dari hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat *Linear Shifter Mechanism* berhasil memindahkan 6 buah balok dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ashish Kumar; Puneet Pawar, Sagar Rana; Shishir Bist. 2015. Multi-Angular *Gearless Drive*. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 7, July-2015.
- [2]. Solanki Nehal Pramesh; Patel Harshil K.; Singh Montu; Rajwani Avesh. 2017. Design and Analysis of *Gearless transmission* Through *Elbow Mechanism*. International Journal of Scientific Research in Engineering (IJSRE), Vol. 1 (3), March, 2017.
- [3]. Navneet Bardiya; Karthik. T.; L. Bhaskara Rao. 2014. Analysis and Simulation of *Gearless transmission Mechanism*. International Journal of Core Engineering & Management (IJCEM), Volume 1, Issue 6, September 2014.

- [4].Khurmi dan Gupta. 2005. A Textbook of Machine Design. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) Ltd.
- [5].Curtis Waguespack. 2011. *Mastering Autodesk Inventor 2012 and Autodesk Inventor LT 2012*. Wiley Publishing.