

**PEMBUATAN PROTOTIPE DAN MODEL SISTEM KENDALI
LENGAN DENGAN SAMBUNGAN FLEKSIBEL
(*FLEXIBLE JOINT*)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Architano Nuari Wicaksono

No. Mahasiswa : 13525016

NIRM : 2013010335

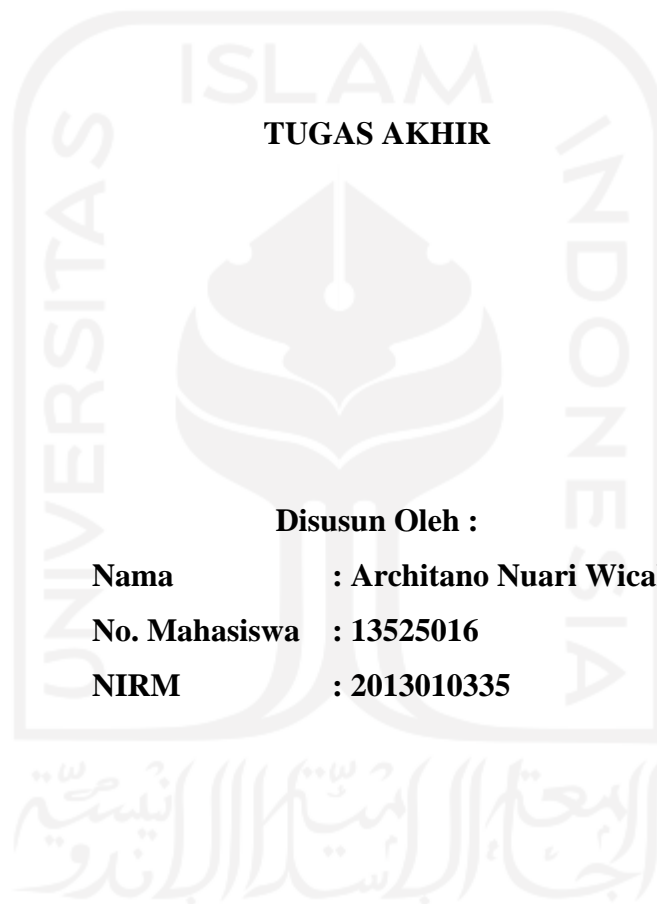
**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

YOGYAKARTA

2020

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PEMBUATAN PROTOTIPE DAN MODEL SISTEM KENDALI
LENGAN DENGAN SAMBUNGAN FLEKSIBEL
(*FLEXIBLE JOINT*)**



Disusun Oleh :

Nama : Architano Nuari Wicaksono

No. Mahasiswa : 13525016

NIRM : 2013010335

Yogyakarta, 29/01/2021

Pembimbing I,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Purtojo'.

Purtojo, S.T., M.Sc.

Pembimbing II,

PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah yang maha segalanya, dengan ini saya menyatakan, bahwa karya ini merupakan hasil kerja saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang telah saya cantumkan sumbernya sebagai referensi. Apabila dikemudian hari terbukti pengakuan saya tidak benar serta melanggar peraturan yang sah dalam hak kekayaan intelektual, maka saya bersedia mengikuti hukuman ataupun sanksi apapun sesuai hukum yang diberlakukan Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, Januari 29th 2021

Penulis,



Architano Nuari Wicaksono

13525016

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PEMBUATAN PROTOTIPE DAN MODEL SISTEM KENDALI
LENGAN DENGAN SAMBUNGAN FLEKSIBEL
(*FLEXIBLE JOINT*)**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Architano Nuari Wicaksono

No. Mahasiswa : 13525016

NIRM : 2013010335

Tim Penguji

Ketua

Tanggal :

Anggota I

Tanggal :

Anggota II

Tanggal :

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PEMBUATAN PROTOTIPE DAN MODEL SISTEM KENDALI
LENGAN DENGAN SAMBUNGAN FLEKSIBEL
(*FLEXIBLE JOINT*)**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Architano Nuari Wicaksono
No. Mahasiswa : 13525016
NIRM : <No. Reg. Mhs.>

Tim Penguji

Purtoio, S.T.

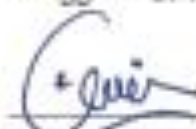
Ketua



Tanggal : 29/01/2021

Mohammad Faizun, ST, M.Eng., Ph.D.

Anggota I



Tanggal : 29/01/2021

Rahmat Riza, ST., M.Sc.ME.

Anggota II



Tanggal : 29/01/2021

Mengetahui



Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Eng. Risdiyono, ST, M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap”

(QS. Al-Insyirah: 6-8)

Saya ucapkan terimakasih kepada :

Bapak dan ibu tercinta

Sujadmiko dan Sayekti Setyo Utami

Sebagai tanda bukti untukku dalam menjalankan amanahmu di jenjang pendidikan. Terimakasih telah berusaha semaksimal mungkin untuk menghantarkanku mencapai gelar sarjana. Semoga gelar yang ku peroleh bisa menjadi bekalmu diakhirat kelak.

Aamiin yaRabbal'alamiin

Kakaku, Archita Nuari Sasika dan suami

Terimakasih atas segala petuah yang engkau haturkan untukku. Doakan aku bisa menjadi apa yang engkau harapkan. Jangan lelah untuk terus memberi nasehat kepadaku.

HALAMAN MOTTO

*"Bila kau tak tahan lelahnya belajar,
Maka kau harus menahan perihnya kebodohan"*

[Imam Asy-Syafi'i Rahimahullah]

*"Sebaik-baik Manusia Adalah Yang Paling Bermanfaat
Bagi Orang Lain "*

[HR. Ahmad, ath-Thabrani, ad-Daruqutni]

*"Allahumma inni as-aluka 'ilman naafi'a, Wa rizqan thayyiba,
Wa 'amalan mutaqobbala"*

[HR. ath-Thabrani]

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

“Assalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh”

Segala puji bagi Allah, kita memuji, meminta pertolongan, dan memohon ampunan kepada-Nya. Kita berlindung kepada-Nya dari kejahatan diri dan dari keburukan amal-amal kita. Siapa yang diberi petunjuk maka tidak ada yang bisa menyesatkannya, dan siapa yang Dia sesatkan maka tidak akan ada yang bisa memberinya hidayah (petunjuk). Aku bersaksi bahwa tiada ilah yang berhak diibadahi dengan benar kecuali Allah semata, tidak ada sekutu bagi-Nya dan aku bersaksi bahwa Muhammad shalallahu’alaihiwassalam adalah hamba dan rasul-Nya.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir tepat pada waktunya. Atas petunjuk dan ridho-Nya jugalah penulis dapat melaksanakan tugas akhir dengan baik dan lancar. Tugas akhir ini disusun agar memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Kelancaran dalam mempersiapkan dan menyelesaikan laporan ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu dengan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis haturkan kepada:

1. Orang tua, dan segenap keluarga tercinta yang tidak henti-hentinya selalu memberikan do’a, motivasi dan bantuan baik moril maupun materi dalam menempuh pendidikan.
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Purtojo, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir.

Yogyakarta, Februari 1st 2021



Author,

Architano Nuari Wicaksono

ABSTRAK

Ditulis oleh : Architano Nuari Wicaksono

Berkembangnya industri 4.0 menjadikan semua teknologi sensor, interkoneksi, dan analisis data saling terintegrasi dalam berbagai bidang industri. Hal ini menimbulkan banyaknya kebutuhan dalam mengendalikan objek kendali terutama dibidang akademisi dan industri melalui penelitian. Salah satu objek kendali yang memiliki beberapa permasalahan yaitu lengan sambungan fleksibel. Permasalahan utama lengan sambungan fleksibel adalah mengendalikan Modul kepala yang berayun bersamaan dengan lengan beban. Pengendalian lengan sambungan fleksibel menggunakan metode konvensional yaitu membuat model matematis, hal ini dikarenakan model matematis sebagai langkah awal pengendalian objek kendali. Tujuan penelitian ini adalah membuat prototipe lengan sambungan fleksibel dan merancang model matematis sesuai dengan parameter pendukung yang ada. Batasan penelitian ini adalah mensimulasikan model matematis dan mengintegrasikan prototipe lengan sambungan fleksibel dengan perangkat lunak arduino IDE dan scilab x-cos. Simulasi yang dilakukan adalah sistem non linier dan sistem fungsi transfer. Implementasi pada hardware yaitu pemeriksaan kinerja encoder, motor DC dan pemeriksaan kinerja prototipe secara keseluruhan yang diintegrasikan menjadi satu. Kesimpulan penelitian ini adalah penulis mendapatkan prototipe lengan sambungan fleksibel yang sudah terintegrasi dengan perangkat lunak dan model matematis berupa fungsi transfer dan state space, serta mengetahui respon karakteristik lengan sambungan fleksibel sebelum dikendalikan menggunakan scilab x-cos.

Kata kunci : Sambungan fleksibel, prototipe, fungsi transfer, state space

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	vi
Halaman Motto	vii
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	viii
Abstrak	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Gambar	xiii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.1.1 Desain Produk	5
2.2 Persamaan Matematika	6
2.2.1 Mendapatkan Persamaan Dinamis System	11
Bab 3 Metode Penelitian	13
3.1 Alur Penelitian	13
3.2 Peralatan dan Bahan	15
3.2.1 Motor DC	15
3.2.2 Encoder Putar	15
3.2.3 Arduino Mega	16
3.2.4 Motor shield	17
3.3 Perancangan	17

3.3.1	Perancangan Perangkat Keras	17
3.3.2	Perancangan Perangkat Lunak.....	18
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	23
4.1	Hasil Perhitungan Model Matematis	23
Bab 5	Penutup.....	28
5.1	Kesimpulan	28
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	28
Daftar Pustaka	29



DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Tabel Satuan	7
Tabel 3-1	Tabel komponen modul kepala sambungan fleksibel.....	17
Tabel 4-1	Tabel <i>problem data rotary flexible joint</i>	23
Tabel 4-2	Tabel symbol matematika beserta nilainya	24



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Rankaian terhubung dengan rangkaian badan model produk quanser	6
Gambar 2-2	Alternative Posisi Jamgar Lengan Beban Utama	7
Gambar 2-3	Sambungan fleksible posisi awal	8
Gambar 2-4	Sambungan fleksible setelah diberi ayunan	8
Gambar 2-5	Permodelan sederhana sistem dinamis	10
Gambar 3-1	Diagram alur penelitian	14
Gambar 3-2	Motor DC Maxon	15
Gambar 3-3	Encoder Putar	15
Gambar 3-4	Arduino MEGA	16
Gambar 3-5	<i>Motor Driver</i>	17
Gambar 3-6	Blok diagram pemeriksaan kinerja <i>encoder</i> putar <i>flexible joint</i>	18
Gambar 3-7	Mengatur blok diagram <i>encoder</i> modul	19
Gambar 3-8	Respon pemeriksaan pulsa <i>encoder</i> putar modul	19
Gambar 3-9	Mengatur blok diagram <i>encoder</i> motor DC	20
Gambar 3-10	Respon pemeriksaan pulsa <i>encoder</i> putar motor DC	20
Gambar 3-11	Blok diagram pemeriksaan kinerja motor DC.	21
Gambar 3-12	Respon pemeriksaan kinerja motor DC dengan input posisi.	22
Gambar 4-1	Hasil uji coba <i>Sine Sweep</i> pada motor untuk menemukan kekakuan sambungan fleksibel	26
Gambar 4-2	Pemodelan motor DC menggunakan state space model	27

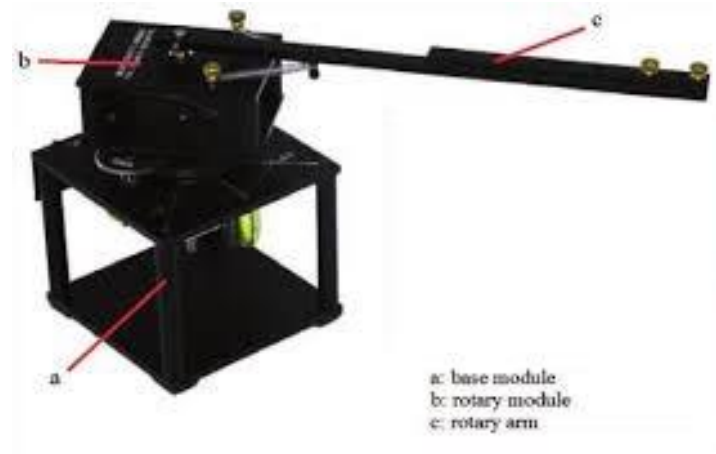
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semenjak evolusi robotik dari era akhir abad ke-16, telah banyak kemajuan dilakukan berkat penelitian di bidang robotika ini. Peningkatan teknologi di perangkat sejenis elektronik, kontrol, perancangan, simulasi, dll. Telah meningkatkan penerapan robotika ke tingkat maju. Sekarang, robot telah menjadi bagian penting di berbagai bidang seperti medis, pembangkit listrik tenaga nuklir, otomasi, pendidikan, dan industri. Dalam bidang pendidikan, teknologi memiliki peran besar dalam alat praktikum dan pengenalan mekanika sistem kepada praktikan.

Pengendalian robotik dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu kaku dan fleksibel. Kendali kaku memiliki peningkatan gaya tarik lebih presisi di karenakan material yang digunakan adalah besi dan aluminium tetapi memiliki biaya tinggi dan berat. Sedangkan kemajuan di teknologi material telah memungkinkan kita untuk menggunakan material yang memiliki biaya dan berat yang lebih sedikit, tetapi memiliki tingkat fleksibel yang kurang tepat, sehingga membutuhkan kontrol yang kuat atau adaptif kendali untuk mengendalikan arah gerak. Tujuan utama dari tugas akhir ini adalah mengendalikan sambungan fleksibel yang memiliki lengan kaku yang di tahan oleh pegas menyambung ke permukaan berputar. Gambar 1-1 adalah alat peraga sambungan fleksibel yang akan digunakan, alat ini memiliki badan utama tetap yang kemudian di atasnya dipasang permukaan putar yang memiliki sambungan fleksibel dengan pegas sebagai penyambungannya.



Gambar 1-1 Alat Sambungan Fleksibel produk Quanser

Kompleksitas dalam pengendalian getaran karena tingkat kelenturan dapat dilakukan dengan mengendalikan jalur gerak yang tepat untuk sambungan fleksibel pada lengan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang dikemukakan pada latar belakang, penulis merumuskan permasalahan atau mengidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah desain mekanisme mesin sambungan fleksibel yang akan digunakan sebagai alat praktikum ?
2. Bagaimanakah karakteristik matematik mesin sambungan fleksibel yang telah dibuat ?
3. Bagaimanakah sistem mekanik mesin sambungan fleksibel ?

1.3 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup pembatasan tidak melebar dari topik yang ditentukan dan topik dapat secara terperinci disampaikan, maka berikut ini Batasan masalahnya:

1. Bentuk mesin fleksibel yang akan dibuat berdasarkan produk dari *quanser rotary flexible joint*.
2. Desain matematika menggunakan perangkat lunak *scilab*

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan perumusan masalah yang telah dikemukakan, adapun tujuan dari desain mesin sambungan fleksibel ini antara lain :

1. Membuat alat peraga praktikum untuk lab otomasi
2. Menentukan karakteristik matematika dari alat yang telah dibuat

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Adapun manfaat dengan adanya mesin sambungan fleksibel yang menerapkan sistem otomasi antara lain ialah:

1. Alat dapat digunakan sebagai alat praktikum di lab otomasi.
2. Dapat membantu mendesain sebuah kontrol kendali

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan tugas akhir ini diuraikan bab demi bab yang berurutan untuk mempermudah pembahasannya. Pokok-pokok permasalahan dalam penulisan ini dibagi menjadi lima bab yaitu :

1. Bab I berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat perancangan serta sistematika penulisan laporan.
2. Bab II berisi penjelasan mengenai teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam pemecahan masalah melingkupi kajian pustaka dan landasan teori.
3. Bab III berisikan penjelasan tentang langkah-langkah dan metode yang digunakan meliputi alur perancangan yang dilengkapi dengan diagram alir, alat dan bahan yang digunakan, petunjuk kerja.
4. Bab IV berisikan data dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan meliputi penjelasan mengenai hasil yang telah dicapai dalam perancangan ini dan pembahasannya

5. Bab V merupakan bab penutup yang berisikan kesimpulan beserta saran yang didapat dalam pelaksanaan perancangan ini.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

“A robot is defined as an electro-mechanical system, designed to perform specific tasks with speed, accuracy and precision” (Alam et al., 2018). *“Robot is an electromechanical device with multiple degree-of-freedom (dof) that is programable to accomplish a variety of tasks.”* (Williams, n.d.).

Berdasarkan definisi tersebut, robot adalah rangkaian elektro-mekanik yang dibuat untuk memenuhi sebuah tugas khusus. Penggunaan robot sendiri sudah masuk ke kehidupan sehari-hari di jaman moderen. Untuk itu beberapa robot memerlukan rangkaian gerak kompleks untuk memenuhi sebuah tugas. Mengontrol gerak yang kompleks memerlukan program kontrol yang presisi. Untuk dapat mengamati fenomena yang terjadi pada sambungan fleksibel pada robot diperlukan rangkaian alat yang dapat merepresentasikan fenomena tersebut secara detail. Alat tersebut adalah sambungan fleksibel putar.

Alat sambungan fleksible putar memiliki lengan beban yang di pautan dengan dua buah pegas yang tersambung pada kepala putar alat yang digerakkan dengan motor DC. Ketika kepala putar bergerak lengan beban akan memiliki momen inersia searah dengan kepala putar, dan ketika kepala putar berhenti kedua pegas akan memberikan resistansi ke lengan beban agar momen inersia menjadi nol di lengan beban. Encoder yang terletak pada pangkal kepala putar akan mendeteksi fenomena tersebut dan mengolahnya menjadi data. Hasil pembacaan encoder kepala putar akan dibandingkan dengan hasil pembacaan encoder pada motor penggerak.

2.1.1 Desain Produk

Desain produk merupakan skema dimana elemen-elemen fungsional dan produk disusun menjadi beberapa kumpulan komponen yang berbentuk fisik. Desain produk ditetapkan selama fase pengembangan konsep dan perancangan

tingkatan sistem (Ulrich & Eppinger, 2001). Terdapat beragam perangkat lunak desain yang digunakan dalam industri manufaktur, adapun perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan tahap desain dalam penelitian ini antarlain ialah *Scilab*.

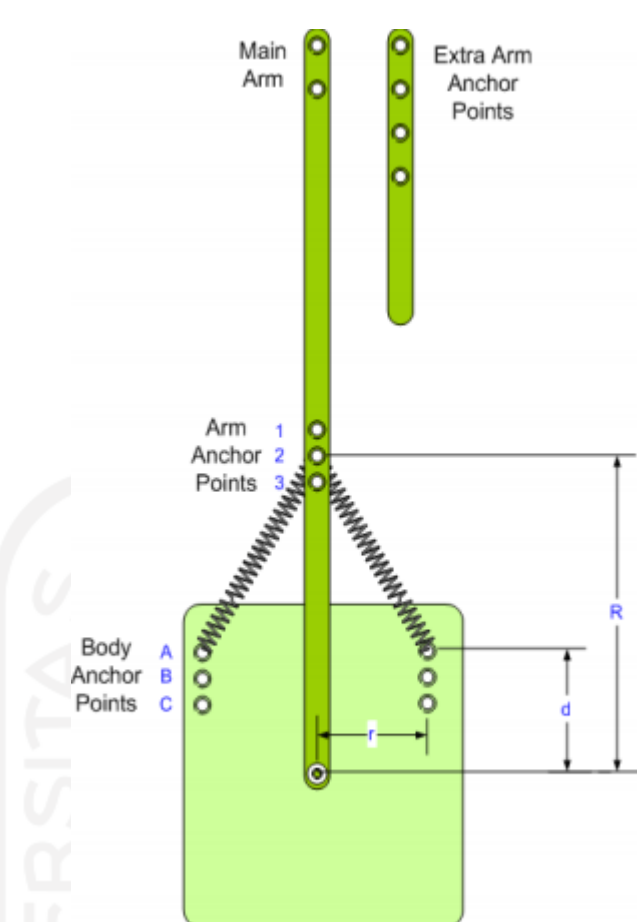
Scilab adalah perangkat lunak gratis dan sumber terbuka untuk penghitungan angka menyediakan fasilitas komputasi yang kuat untuk aplikasi teknik dan ilmiah

2.2 Persamaan Matematika

Gambar 2-1 dibawah menggambarkan rangkian sambungan fleksible terhubung dengan Rangkaian badan beserta motor dc. Rangkaian yang terhubung dengan rangkaian badan dihubungkan dengan pegas yang di tahan oleh *thumbscrews*. Lengan utama beban kemudian ditahan dengan kedua pegas dan membuat sambungan fleksible. Gambar 2-2 menunjukkan posisi lain untuk variasi simulasi.



Gambar 2-1 Rangkaian terhubung dengan rangkaian badan model produk quanser



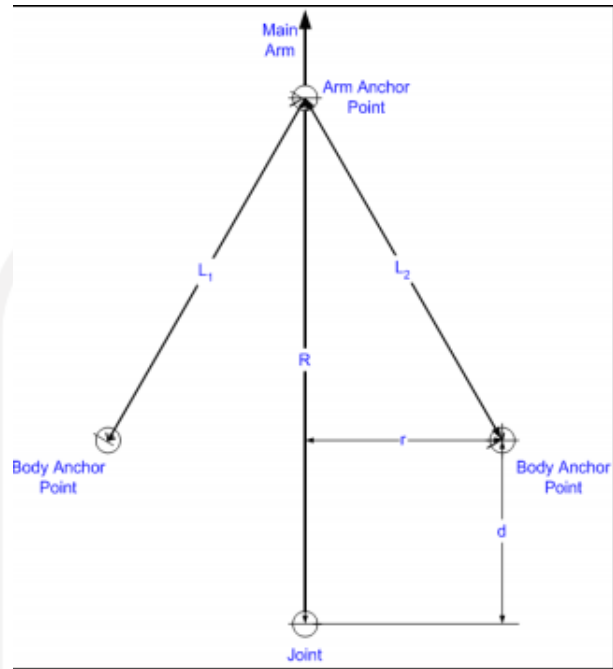
Gambar 2-2 Alternative Posisi Jamgar Lengan Beban Utama

Table di bawah menunjukkan hubungan satuan dan tata nama yang digunakan pada penghitungan:

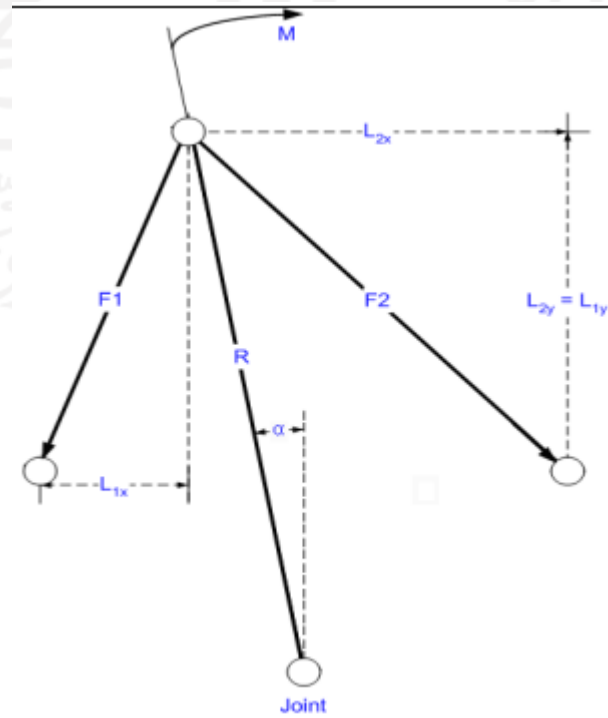
Tabel 2-1 Tabel Satuan

Simbol	Penjelasan	Simbol	Penjelasan
R	Jarak antara sambungan dan titik ankor lengan	L_1, L_2	Panjang pegas 1 & 2
d	Jarak antara sambungan dan badan titik ankor	F_1, F_2	Gaya pada pegas 1 & 2
r	Jarak tetap ($r = 3.18 \text{ cm}$)	k	Kekakuan pegas

θ	Sudut beban servo (radians)	L	Panjang pegas pada posisi kendur
α	Ayunan lengan (radians)	M	Moment kembali



Gambar 2-3 Sambungan fleksible posisi awal



Gambar 2-4 Sambungan fleksible setelah diberi ayunan

Gambar 2-3 di atas menggambarkan sambungan pada posisi tetap sementara gambar 2-4 saat diberikan ayunan (α). Pegas 1 akan tertekan sementara pegas 2 akan tertarik. Kemudian sesuai Gambar 2.4 mendapatkan persamaan rumus:

$$\begin{aligned}
 L_{1x} &= r - R \sin \alpha \\
 L_{1y} &= R \cos \alpha - d \\
 L_{2x} &= r + R \sin \alpha \\
 L_{2y} = L_{1y} &= R \cos \alpha - d
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

$$\begin{aligned}
 L_1 &= \sqrt{L_{1x}^2 + L_{1y}^2} \\
 L_2 &= \sqrt{L_{2x}^2 + L_{2y}^2}
 \end{aligned}$$

Kemudian turunkan gaya yang bekerja pada setiap pegas:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= K(L_1 - L) + F_r \\
 F_2 &= K(L_2 - L) + F_r \\
 F_{1x} &= F_1 \frac{L_{1x}}{L_1}, \quad F_{1y} = F_1 \frac{L_{1y}}{L_1} \\
 F_{2x} &= F_2 \frac{L_{2x}}{L_2}, \quad F_{2y} = F_2 \frac{L_{2y}}{L_2}
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Kembali pada Gambar 2-4 , dapat dilihat F_1 & F_2 keduanya memiliki reaksi pada kedua titik lengan beban angkora (titik dimana kedua pegas saling terhubung dengan lengan beban). Dengan pengamatan sederhana, dapat dilihat bahwa x komponen saling berlawanan sedangkan komponen y selalu di arah yang sama, sehingga:

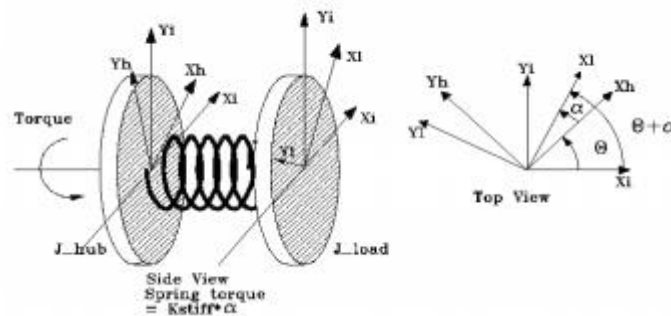
$$\begin{aligned}
 F_x &= F_{2x} - F_{1x} \\
 F_y &= F_{2y} - F_{1y}
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

dua gaya yang bekerja pada titik angkor yang akan mengayunkan lengan beban ke posisi semula. Kedua gaya ini akan mengakibatkan sebuah torsi pada sambungan. Diketahui bahwa torsi moment kembali sama besar ke seluruh bidang radius R dan setiap gaya mengakibatkan:

$$\begin{aligned}
 M_x &= R \times F_x = RF_x \sin(\pi/2 - \alpha) = RF_x \cos \alpha \\
 M_y &= R \times F_y = RF_y \sin(2\pi - \alpha) = -RF_x \sin \alpha \\
 M &= M_x + M_y = R \cos\alpha(F_{2x} - F_{1x}) - R \sin\alpha(F_{2y} + F_{1y})
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Setelah didapatkan momen kembali M . Ubah pemodelan sambungan fleksibel sebagai sederhana pegas dengan persamaan dinamis sebagai berikut:

$$M = K_{stiff}\alpha$$



Gambar 2-5 Permodelan sederhana sistem dinamis

Gambar 2-5 diatas menunjukkan pemodelan sederhana yang akan di gunakan untuk sambungan fleksibel. M tidak linier sehingga didapatkan linier pertama, order linier estimasi pada kekakuan sambungan K_{stiff} :

$$K_{stiff} = \frac{\delta M}{\delta \alpha}, \text{ Dengan } \alpha = 0$$

$$K_{stiff} = \left[\frac{2R}{D^{3/2}} \right] [(Dd - Rr^2)F_r + (D^{3/2}d - DLd + Rr^2L)K] \tag{2.5}$$

2.2.1 Mendapatkan Persamaan Dinamis System

Setelah mendapatkan pemodelan linier model untuk sambungan, persamaan sistem dinamic dapat dicari menggunakan formula Euler-Lagrange. Didapatkan energi potensial dan energi kinetik di dalam persamaan sebagai berikut:

Energi Potensial – Energi Potensial hanya terjadi pada pegas

$$V = P.E_{spring} = \frac{1}{2}K_{stiff}\alpha^2 \quad (2.6)$$

Energi Kinetik – Energi Kinetik di sistem berasal dari pergerakan sambungan dan lengan sambungan fleksibel:

$$T = K.E_{Hub} + K.E_{Arm} = \frac{1}{2}J_{eq}\theta^2 + \frac{1}{2}J_{Arm}(\dot{\theta} + \dot{\alpha})^2 \quad (2.7)$$

Membuat Lagrangian:

$$L = T - V = \frac{1}{2}J_{eq}\theta^2 + \frac{1}{2}J_{Arm}(\dot{\theta} + \dot{\alpha})^2 - \frac{1}{2}K_{Stiff}\alpha^2 \quad (2.8)$$

Sekarang dua koordinat general adalah θ dan α . Sehingga menghasilkan dua persamaan:

$$\frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\delta L}{\delta \dot{\theta}} \right) - \frac{\delta L}{\delta \theta} = T_{output} - B_{eq}\dot{\theta} \quad (2.9)$$

$$\frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\delta L}{\delta \dot{\alpha}} \right) - \frac{\delta L}{\delta \alpha} = 0 \quad (2.10)$$

Setelah menghitung persamaan (2.9) dan (2.10) akan mendapatkan persamaan baru:

$$J_{eq}\ddot{\theta} + J_{Arm}(\ddot{\theta} + \ddot{\alpha}) = T_{output} - B_{eq}\dot{\theta} \quad (2.11)$$

$$J_{Arm}(\ddot{\theta} + \ddot{\alpha}) + K_{stiff}\alpha = 0 \quad (2.12)$$

Dengan mencari persamaan untuk kontrol posisi, diketahui bahwa output torsi ke beban dari motor adalah:

$$T_{Output} = \frac{\eta_m \eta_g K_t K_g (V_m - K_g K_m \dot{\theta})}{R_m} \quad (2.13)$$

Akhirnya, dengan menggabungkan persamaan (2.11), (2.12) & (2.13), Akan menghasilkan persamaan *state-space* dari seluruh sistem:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\alpha} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{K_{Stiff}}{J_{eq}} & \frac{-\eta_m \eta_g K_t K_m K_g^2 + B_{eq} R_m}{J_{eq} R_m} & 0 \\ 0 & \frac{-K_{Stiff} (J_{eq} + J_{Arm})}{J_{eq} J_{Arm}} & \frac{\eta_m \eta_g K_t K_m K_g^2 + B_{eq} R_m}{J_{eq} R_m} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \alpha \\ \dot{\theta} \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{\eta_m \eta_g K_t K_g}{J_{eq} R_m} \\ \frac{-\eta_m \eta_g K_t K_g}{J_{eq} R_m} \end{bmatrix} V_m$$

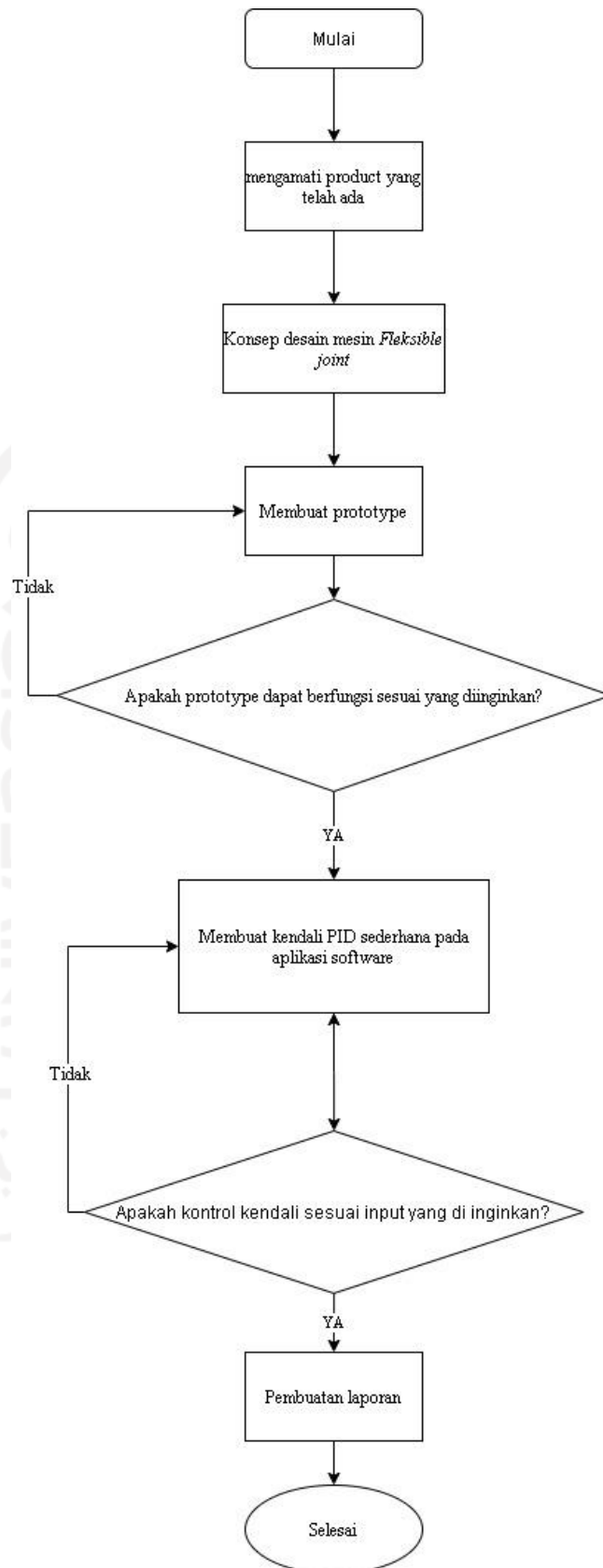
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian berupa bagan yang merupakan diagram alir dari tahapan yang dilakukan dalam penelitian. Berikut ini diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3-1





Gambar 3-1 Diagram alur penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Motor DC



Gambar 3-2 Motor DC Maxon

Motor DC adalah perangkat motor yang memerlukan tegangan arus listrik searah pada kumparan medan dan merubahnya menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar), dan kumparan jangkar di sebut rotor (bagian yang berputar).

3.2.2 Encoder Putar



Gambar 3-3 Encoder Putar

Adalah alat elektronika yang merubah nilai posisi sudut atau gerak analog ke digital. Terdapat dua tipe encoder putar *absolute* dan *incremental*

3.2.3 Arduino Mega



Gambar 3-4 Arduino MEGA

Arduino mega adalah papan *microcontroller* yang digunakan untuk mesin robotika. Arduino Mega memiliki 54 digital pin *input / output* (Dimana 15 pin dapat dipakai untuk *output* PWM), 16 analog *inout*, 4 UARTs (*serial port* perangkat keras), 16 MHz *crystal oscillator*, sambungan USB, sambungan *power jack*, ICSP *header*, dan tombol reset. Dengan menyambungkan Arduino mega ke komputer menggunakan sambungan USB atau dengan menyambungkan sumber tenaga AC ke DC adapter atau baterai untuk memprogram

3.2.4 Motor shield



Gambar 3-5 *Motor Driver*

Motor shield adalah modul *driver* untuk dapat mengendalikan kecepatan dan arah motor menggunakan Arduino. Dengan menggunakan *Dual Full-Bridge* kendali chip L298, mampu mengendalikan dua motor DC atau step motor

3.3 Perancangan

3.3.1 Perancangan Perangkat Keras

Berikut adalah tabel dan gambar pendukung untuk rangkaian modul kepala sambungan fleksibel:

Tabel 3-1 Tabel komponen modul kepala sambungan fleksibel

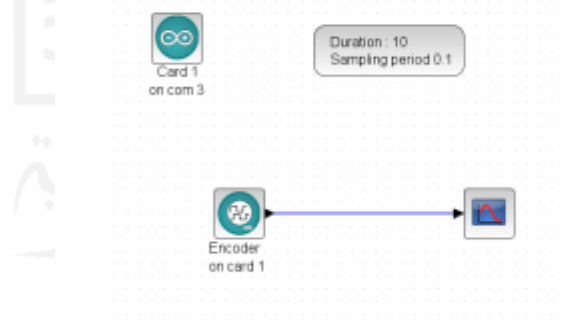
1	Base Kepala	6	Titik Jangkar Lengan beban
2	Mur	7	Pegas
3	Lengan beban	8	Beban Tambahan
4	Encoder		
5	Lubang Jangkar Base		

3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang penulis gunakan adalah scilab 5.5.2, MATLAB and *toolbox* Arduino 1.4 sebagai blok diagram Arduino pada Scilab x-cos. Perancangan perangkat lunak scilab terdiri dari pemeriksaan kinerja *rotary encoder* dan motor DC. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa komponen utama *rotary flexible joint* telah terhubung dengan perangkat lunak Scilab dan bekerja sesuai dengan spesifikasinya.

3.3.2.1 Pemeriksaan Kinerja *Rotary Encoder*

Pemeriksaan kinerja *rotary encoder* bertujuan untuk memastikan kinerja *rotary encoder* sudah sesuai pada spesifikasi atau belum. *Rotary encoder* yang digunakan ada dua, yaitu pada lengan beban modul dan *encoder* yang terhubung pada motor DC. Masing-masing *encoder* putar seperti pada gambar 3-3 memiliki kapasitas 400 pulsa per putaran. *Encoder* putar lengan beban berfungsi sebagai pembaca posisi radian atau sudut pada lengan beban yang disambungkan pada input Arduino pin. Pemeriksaan kinerja blok diagram *encoder* putar lengan beban dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



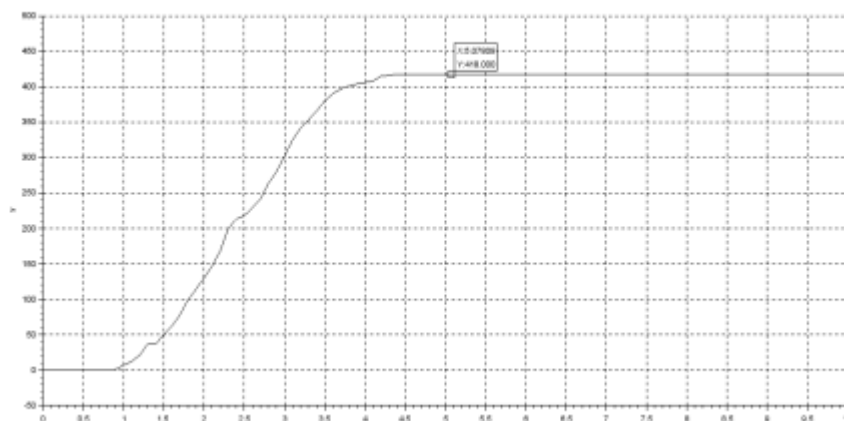
Gambar 3-6 Blok diagram pemeriksaan kinerja *encoder* putar *flexible joint*.

Blok diagram seperti gambar 3-6 didapatkan dari *toolbox* Arduino 1.4. Setelah membuat blok diagram pemeriksaan kinerja *encoder* putar kemudian memasukkan pin yang sesuai pada Arduino seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3-7 Mengatur blok diagram *encoder* modul

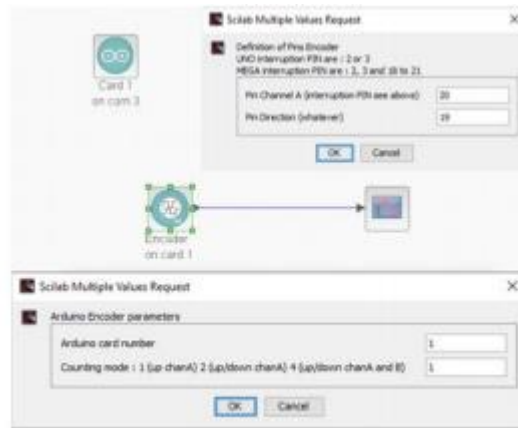
Setelah melakukan pengaturan pada blok diagram *encoder* seperti pada gambar 3-7 kemudian melakukan eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan menyambungkan langsung *encoder* putar modul ke perangkat lunak Scilab. Respon eksperimen dapat dilihat dari grafik yang menunjukkan kapasitas pulsa yang terbaca seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3-8 Respon pemeriksaan pulsa *encoder* putar modul

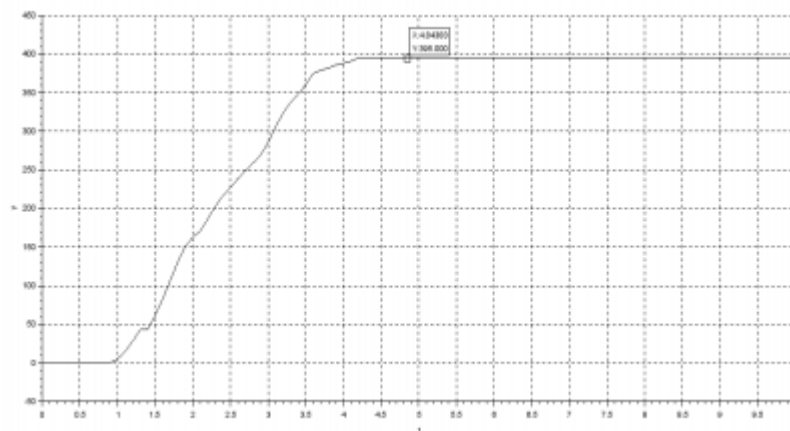
Sumbu y menunjukkan pulsa dan sumbu x menunjukkan waktu. Respon kinerja *encoder* putar modul menunjukkan pulsa sebesar 418 per putaran. Hasilnya tetap menggunakan sesuai spesifikasi yaitu 400 pulsa per putaran, perbedaan dengan eksperimen bisa dimungkinkan penulis tidak memastikan *encoder* putar berputar tepat satu putaran karena *human error*. Selanjutnya adalah pemeriksaan kinerja *encoder* putar motor DC, *encoder* putar motor DC berfungsi untuk

mengetahui posisi putaran motor DC. Pemeriksaan *encoder* putar motor DC menggunakan blok diagram yang sama seperti pada gambar 3-6, yang berbeda adalah pin pada blok diagram *encoder*. Input pin *encoder* putar motor DC adalah 20 dan 19 yang kemudian dimasukkan pada blok diagram seperti gambar di bawah ini:



Gambar 3-9 Mengatur blok diagram *encoder* motor DC.

Setelah melakukan pengaturan pada blok diagram *encoder* motor DC seperti di gambar 3-9 kemudian melakukan eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan menyambungkan langsung *encoder* putar motor DC ke perangkat lunak Scilab. Respon eksperimen dapat dilihat dari grafik yang menunjukkan kapasitas pulsa yang terbaca seperti gambar di bawah ini:



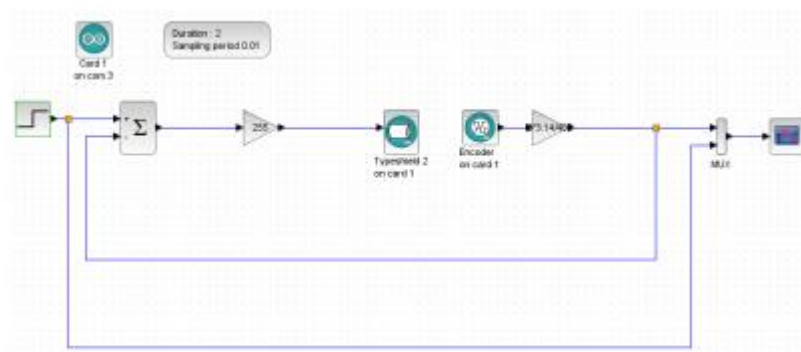
Gambar 3-10 Respon pemeriksaan pulsa *encoder* putar motor DC.

Respon kinerja *encoder* putar motor DC menunjukkan pulsa sebesar 395 per putaran. Hasilnya tetap menggunakan sesuai spesifikasi yaitu 400 pulsa per

putaran, perbedaan dengan eksperimen bisa dimungkinkan penulis tidak memastikan *encoder* putar berputar tepat satu putaran.

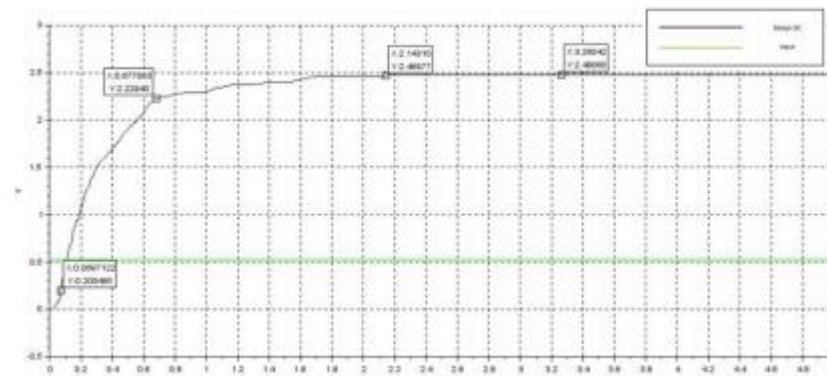
3.3.2.2 Pemeriksaan Kinerja Motor DC

Perancangan perangkat lunak menggunakan Scilab x-cos selanjutnya adalah pemeriksaan kinerja motor DC. Pemeriksaan kinerja motor DC adalah pemeriksaan respon posisi, karena parameter sistem kendali *ecoder* putar *flexible joint* adalah posisi. Desain blok diagram Scilab x-cos pemeriksaan kinerja motor DC dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3-11 Blok diagram pemeriksaan kinerja motor DC.

Desain blok diagram pemeriksaan kinerja motor DC menggunakan input posisi $0,52$ radian atau 30° pada blok *step function*. Nilai gain pwn yaitu 255 bertujuan agar mendapatkan percepatan yang maksimal. Pengaturan blok *typeshield 2 on card 1* dengan memilih tipe *driver* motor yang digunakan yaitu *L298*. Kemudian memasukkan *direction* pin 8 dan *enable* (speed) pin 9, hal ini harus disesuaikan dengan rangkaian elektrik. Blok *encoder* sama seperti pada pemeriksaan kinerja *encoder* putar motor DC pada gambar 3-9. Nilai gain pulsa *encoder* didapatkan dari hasil perhitungan $2 \times 3,14/400$, perhitungan tersebut bertujuan untuk mengkonversi jumlah pulsa dalam satuan radian. Respon pemeriksaan kinerja motor DC dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3-12 Respon pemeriksaan kinerja motor DC dengan input posisi.

Sumbu y menunjukkan posisi dalam satuan radiandan sumbu x menunjukkan waktu dalam satuan sekon. Garis hijau menunjukkan input yang diinginkan dalam satuan radian. Respon kinerja motor DC pada gambar 3-12 menunjukkan posisi 2,48 radian. Hasil ini belum sesuai dengan input yang diberikan sebesar 0.5 radian, hal ini dapat diatasi dengan melakukan pengendalian menggunakan PID pada motor DC. Respon bjeck kendali memiliki parameter spesifikasi respon sistem sebagai berikut:

1. *Errorsteady state* = 1,98 rad/s
2. *Settling time* = 2,14 s
3. *Rise time* = 0,16 s
4. *Percent overshoot* = -
5. *Peak time* = -

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Model Matematis

Untuk menghitung model matematis pertama perlu mengetahui respon sistem kendali. Respon sistem kendali memiliki beberapa parameter yang di gunakan sebagai acuan untuk menghitung nilai serta mengukur sesuai atau tidaknya respon sistem kendali. Beberapa parameter tersebut adalah :

1. *Rise time* (T_r), waktu yang dibutuhkan respon sistem pada posisi awal 0,1 sampai 0,9
2. *Peak time* (T_p), waktu yang dicapai respon pertama, maksimum, dan puncak.
3. *Percent overshoot* (%OS), amplitud pertama dengan nilai maksimum pada respon sistem sebelum keadaan *steady state* dalam bentuk presentase.
4. *Settling time* (T_s), waktu yang diperlukan respon dalam meredam osilasi sampai kondisi *steady state* dengan nilai toleransi $\pm 2\%$ (Nise, 2015).

Penulis menggunakan variable yang ada dan menghitung model matematis dengan output fungsi transfer. *Problem data rotary flexible joint* didapatkan berdasarkan *datasheet* motor DC, *rotary encoder*, dan hasil pengukuran langsung terhadap lengan beban dan lengan beban seperti pada tabel 4-1 berikut :

Tabel 4-1 Tabel *problem data rotary flexible joint*

No	Problem data	Nilai	Data
1.	Panjang lengan beban	300 mm = 0,3 m	Pengukuran langsung
2.	Panjang beban tambahan	150 mm = 0,15 m	Pengukuran langsung
3.	Berat kepala <i>modul</i>	0.3 kg *	Pengukuran langsung

4.	Berat lengan beban	0,064 kg	Pengukuran langsung
5.	Berat beban tambahan	0,03 kg	Pengukuran langsung
6.	<i>Encoder resolution</i>	400 <i>pulse/revolution</i>	<i>Datasheet encoder</i>
7.	Kekakuan pegas#1	187 N/m = 18700 N/cm*	<i>Properties Inventor</i>
8.	Efisiensi motor	±5%	
9.	Efisiensi Gearbox	±10%	
10.	<i>High-gear equivalent moment of inertia without external load</i>	$5,68 \times 10^{-7} \text{kgm}^2$	<i>Datasheet motor</i>
11.	<i>Motor current torque constant</i>	30,7 Nm/A	<i>Datasheet motor</i>
12.	Motor back emf constant	$31,89 \times 10^{-3} \text{Vs/rad}$	<i>Datasheet motor</i>
13.	Motor armature resistance	21,6Ω	<i>Datasheet motor</i>

Penentuan nilai momen inersia lengan beban dan beban tambahan berdasarkan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Material menyerupai dengan prototipe riilnya.
2. Dimensi sama dengan prototipe.

Gambaran lebih rinci mengenai asumsi asumsi di atas terlampir pada lampiran.

Berdasarkan gambar 2-2 penulis memasukan nilai berdasarkan desain modul kepala prototipe yang dibuat seperti pada table 4-2 berikut:

Tabel 4-2 Tabel symbol matematika beserta nilainya

NO	Simbol	Nilai
1	r	3 cm = 0,03m
2	d	4 cm = 0,04m
3	R	10 cm = 0,1m
4	L	3 cm = 0,03m

5	Fr	$d/R = 4/10 = 0,4$
6	α	45°
7	J_{eq}	$5,68 \times 10^{-7} \text{kg} \cdot \text{m}^2$
8	η_m	$\pm 5\%$
9	η_g	$\pm 10\%$
10	K_t	$30,7 \text{ Nm/A}$
11	K_m	$31,89 \times 10^{-3} \text{Vs/rad}$
12	R_m	$21,6\Omega$
13	B_{eq}	$0,004 \frac{\text{Nm}}{(\text{rad/s})}$

Masukkan nilai dari tabel 4-2 ke persamaan 2.1

$$L_{1x} = 3 - 10 \sin 45^\circ = -4,07 \text{ cm}$$

$$L_{1y} = 10 \cos 45^\circ - 4 = 3,07 \text{ cm}$$

$$L_{2x} = 3 + 10 \sin 45^\circ = 10,07 \text{ cm}$$

$$L_{2y} = L_{1y} = 3,07 \text{ cm}$$

$$L_1 = \sqrt{-4,07^2 + 3,07^2} = 0,05 \text{ m}$$

$$L_2 = \sqrt{10,07^2 + 3,07^2} = 0,1 \text{ m}$$

Dilanjutkan ke persamaan 2.2

$$F_1 = 18700(0,05 - 0,03) + 0,4 = 374,4 \text{ N}$$

$$F_2 = 18700(0,1 - 0,03) + 0,4 = 1309,4 \text{ N}$$

$$F_{1x} = 374,4 \frac{-4,07 \times 10^{-2}}{5 \times 10^{-2}} = -299,52 \text{ N}, \quad F_{1y} = 374,4 \frac{3,07 \times 10^{-2}}{5 \times 10^{-2}} = 224,64 \text{ N}$$

$$F_{2x} = 1309,4 \frac{10,07 \times 10^{-2}}{0,1} = 1309,4 \text{ N}, \quad F_{2y} = 1309,4 \frac{3,07 \times 10^{-2}}{0,1} = 392,82 \text{ N}$$

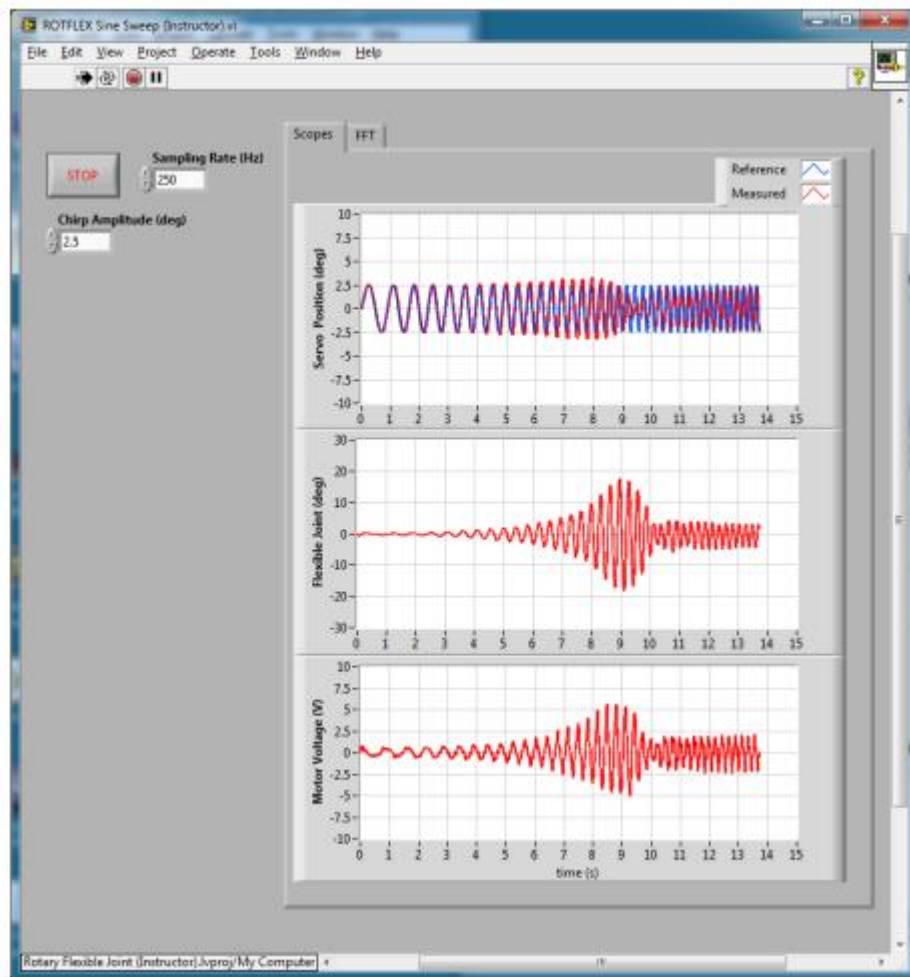
$$F_x = 1309,4 - (-299,52) = 1608,92 \text{ N}$$

$$F_y = 392,82 - 224,64 = 168,18 \text{ N}$$

$$M = 10 \cos 45^\circ (1608,92) - 10 \sin 45^\circ (168,18) = 10187,57 \text{ N}$$

Untuk mencari nilai kekakuan (K_{stiff}) penulis perlu mengetahui nilai frekuensi normal dari sambungan fleksibel. Keadaan ini dimana frekuensi dari sambungan yang terhubung dengan sambungan fleksibel mulai ber-osilasi pada

puncaknya. Untuk menemukan frekuensi ini, penulis menggunakan *Sine Sweep signal*. *Sine Sweep* adalah sebuah gelombang sinus yang melebihi cakupan frekuensi



dari terendah ke tinggi.

Gambar 4-1 Hasil uji coba *Sine Sweep* pada motor untuk menemukan kekakuan sambungan fleksibel

Berdasarkan dari gambar 4-1 dapat dilihat bahwa dalam hasil Motor voltage atau diagram paling bawah penulis dapat membuat sebuah matriks dengan bentuk

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 500 & -5 & 0 \\ 0 & -750 & 5 & 0 \end{bmatrix};$$

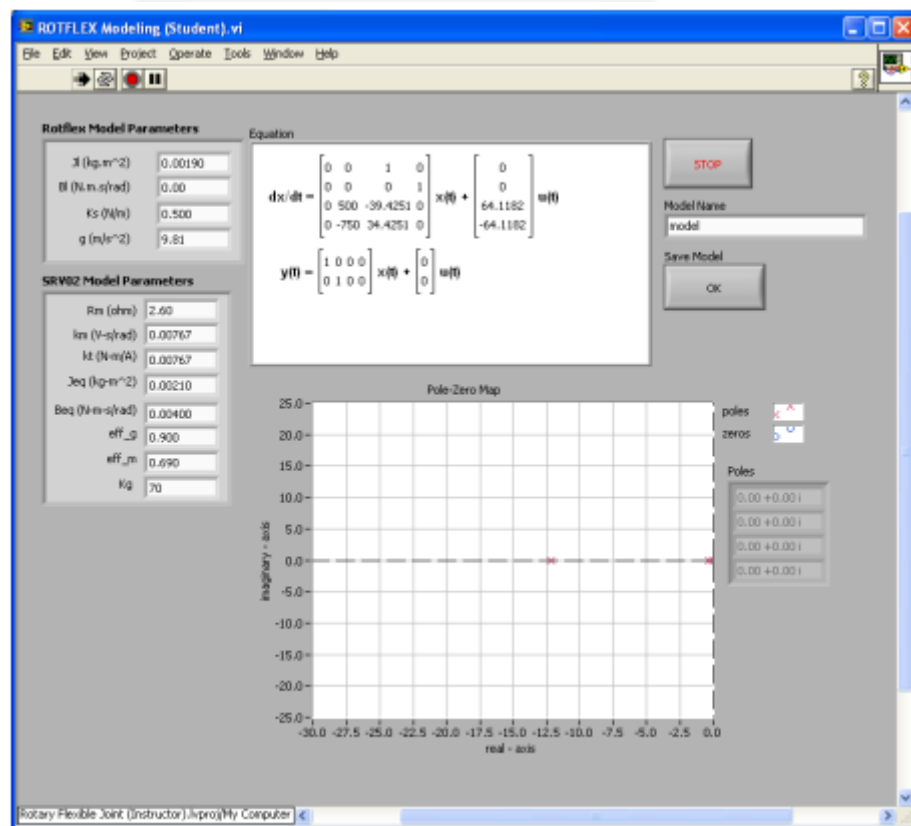
$$B = [0 \quad 0 \quad 500 \quad 500];$$

$$C = \text{zeros}(2, 4);$$

$$D = \text{zeros}(2, 1);$$

Dengan menggunakan rumus yang didapat pada bab 2.3.1 dan bentuk matriks di atas penulis dapat membuat sebuah state space seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\alpha} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 500 & -39,4251 & 0 \\ 0 & -750 & 34,4251 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \alpha \\ \dot{\theta} \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 64,1182 \\ -64,1182 \end{bmatrix} V_m$$



Gambar 4-2 Pemodelan motor DC menggunakan state space model

V_m adalah usaha kontrol maksimum / *voltage*. V_m ditentukan sebagai salah satu nilai input untuk mengendalikan alat agar bekerja sesuai dengan spesifikasi desain kontrol yang ditentukan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- Penulis masih belum dapat melakukan kendali ke alat *prototipe rotary flexible joint* dengan menggunakan perangkat lunak scilab.
- Model matematis yang didapatkan dalam bentuk matriks *state space*.

Fungsi transfer dan matriks *state space* yang didapatkan adalah:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\alpha} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\alpha} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 500 & -39,4251 & 0 \\ 0 & -750 & 34,4251 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \alpha \\ \dot{\theta} \\ \dot{\alpha} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 64,1182 \\ -64,1182 \end{bmatrix} V_m$$

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

- Penelitian selanjutnya dapat melanjutkan pada tahap pembuatan *prototipe rotary flexible joint*.
- Mendesain kontroler yang menggunakan sifat karakteristik berdasarkan alat prototipe.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, W., Ali, N., Wahaj Aziz, H.M., Iqbal, J., 2018. Control of Flexible Joint Robotic Manipulator: Design and Prototyping, in: 2018 International Conference on Electrical Engineering (ICEE). Presented at the 2018 International Conference on Electrical Engineering (ICEE), IEEE, Lahore, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICEE.2018.8566796>
- Williams, D.B., n.d. An Introduction to Robotics 43.
- Hardika Rahmadani Sutejo. *Pemodelan dan Pembuatan Prototipe Sistem Kendali Posisi Lengan sambungan fleksibel*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
- Alamsyah, F. A. (2018). Penggunaan Xcos Sebagai Alternatif Perangkat Lunak Berbayar Untuk Simulasi Sistem Massa-Pegas-Peredam. *JURNAL REKAYASA MESIN*, 95-100.
- Aminuddin, J., Effendi, M., Nurhayati, Widiyani, A., & Sunardi. (2019). Penerapan Formalisme Euler-Langrange dan Solusi persamaan Geraknya dalam Perancangan Pompa Air dengan Kincir Tenaga Penggerak. *Jurnal Teras Fisika*, 9-12.
- Arifin, J., Zulita, L. N., & Hermawansyah. (2016). Perancangan Murottal Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560. *Jurnal Media Infotama* , 89-98.
- Gottlieb, I. (1997). *Practical Electric Motor Handbook*. Great Britain: Biddles Ltd.
- Stephani, H. (2010). *Pengendalian Optimal Furuta Pendulum*. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wijaya, S. K. (2017). *Perancangan dan Implementasi Controller NCTF untuk Operasi PTP pada Sistem Posisi Linier Menggunakan Ball-Screw : Analisis Kinerja Compensator PI dan Compensator Fuzzy*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
- Wahyudi, A. E. (2015). *Perancangan Dan Pembuatan Alat Ukur Jarak Digital Berbasis Arduino Menggunakan Sensor Rotary Encoder*. Surakarta: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

LAMPIRAN

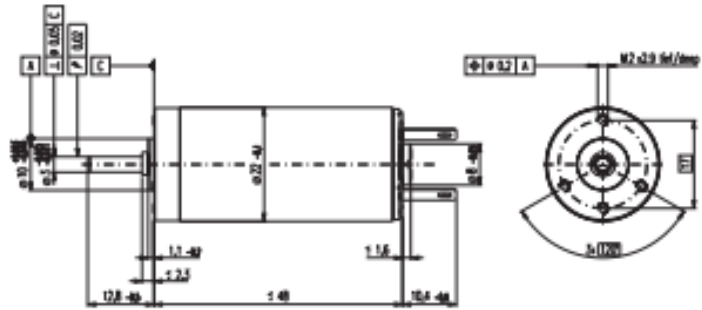
S 2322 Ø22 mm, Graphite Brushes, 6 Watt

NRND See page 12 for environmental and safety classes

maxon special program



M 1:1



- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

Part Numbers

2322 max -11 225-200 (insert winding number)

Motor Data	Winding number	Winding number						
		980	981	990	982	983	985	987
Values at nominal voltage								
1 Nominal voltage	V	12	15	18	18	24	36	48
2 No load speed	rpm	7010	7000	7530	6690	7190	7240	6370
3 No load current	mA	42.2	33.3	30.6	25.8	21.3	14.3	8.88
4 Nominal speed	rpm	4300	4310	4840	3970	4490	4530	3500
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	11.8	12.2	12.2	12.3	12.4	12.3	12.4
6 Nominal current (max. continuous current)	A	0.807	0.654	0.583	0.520	0.420	0.279	0.194
7 Stall torque	mNm	32.9	33.5	35.5	31.4	34.1	33.4	28.8
8 Starting current	A	2.14	1.72	1.64	1.28	1.11	0.724	0.411
9 Max. efficiency	%	70	71	72	71	73	73	73
Characteristics								
10 Terminal resistance	Ω	5.81	8.71	10.9	14.1	21.6	40.7	117
11 Terminal inductance	mH	0.492	0.790	0.995	1.26	1.97	4.43	10.2
12 Torque constant	mNm/A	15.4	19.4	21.8	24.6	30.7	46.1	69.9
13 Speed constant	rpm/V	622	491	437	389	311	207	137
14 Speed/torque gradient	rpm/mNm	227	220	219	223	219	224	228
15 Mechanical time constant	ms	13.9	13.5	13.3	13.3	13.0	12.9	12.8
16 Rotor inertia	gcm ²	5.84	5.86	5.79	5.70	5.68	5.50	5.37

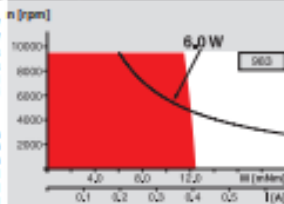
Specifications

Thermal data	
17 Thermal resistance housing-ambient	14.1 K/W
18 Thermal resistance winding-housing	3.6 K/W
19 Thermal time constant winding	0.24 s
20 Thermal time constant motor	649 s
21 Ambient temperature	-20...+100°C
22 Max. permissible winding temperature	+125°C
Mechanical data (ball bearings)	
23 Max. permissible speed	9500 rpm
24 Axial play	0.05 - 0.15 mm
25 Radial play	0.025 mm
26 Max. axial load (dynamic)	2.8 N
27 Max. force for press fits (static)	64 N
28 Max. radial loading, 5 mm from flange	14 N
Other specifications	
29 Number of pole pairs	1
30 Number of commutator segments	7
31 Weight of motor	92 g

Values listed in the table are nominal.
Explanation of the figures on page 71.

Option
Sleeve bearings in place of ball bearings

Operating Range

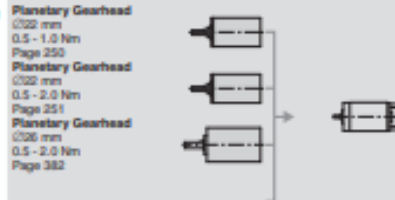


Comments

- **Continuous operation**
In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.
→ Thermal limit.
- Short term operation**
The motor may be briefly overloaded (recurring).
- **Assigned power rating**

maxon Modular System

Overview on page 20 - 25





Direktorat Perpustakaan Universitas Islam Indonesia
Gedung Moh. Hatta
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext.2301
F. (0274) 898444 psw.2091
E. perpustakaan@uii.ac.id
W. library.uui.ac.id

SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI

Nomor: 1498860103/Perpus./10/Dir.Perpus/II/2021

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Assalamualaikum Wr. Wb.

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

Nama : Architano Nuari Wicaksono
Nomor Mahasiswa : 13525016
Pembimbing :
Fakultas / Prodi : Teknologi Industri/ Teknik Mesin
Judul Karya Ilmiah : PEMBUATAN PROTOTIPE DAN MODEL SISTEM KENDALI LINGKAR DENGAN SAMBUNGAN FLEKSIBEL (FLEXIBLE JOINT)

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **12 (Dua Belas) %**.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 1 Februari 2021

Direktur



Joko S. Prianto, SIP., M.Hum