

Perancangan Mesin *Automatic PTFE Tape Wrapper* untuk Kebutuhan Perekatan Katup LPG 1/2 inch hingga 3/4 inch

Muhammad Rizal Ardiansyah¹, Dadan Heryada Wigenaputra^{2*}, Dwiky Maulana Atmadji³

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung
Jl. Kanayakan No. 21, Dago, Kota Bandung, Jawa Barat, Indonesia
*Corresponding author: dadan_heryada@de.polman-bandung.ac.id

Abstract

PTFE tape is an additive material used in fastening processes, particularly on threads or screw joints. Its function is to provide sealing properties ensuring tightness and leak prevention at the bonded interface. One notable application is found at a gas cylinder maintenance facility operating under direct authorization from PT. Pertamina. This facility targets a daily operational capacity of handling thousands of Liquefied Petroleum Gas (LPG) cylinders. However, the seal tape installation on each valve is still performed manually, which presents several operational challenges in terms of efficiency and consistency. This research focuses on designing an automated device for seal tape application. The primary objective is to develop an automatic seal tape wrapper machine to optimize the sealing process in terms of speed and reliability. To achieve this, the design process follows the VDI 2206 methodology from the Verein Deutscher Ingenieure (Association of German Engineers) and utilizes the 3D modeling software SolidWorks. The final outcome is a PTFE tape machine capable of operating automatically with a cycle time of 5-6 seconds per valve, and a production capacity of up to 3,900 valves per day.
Keywords: Automatic sealer, Methodology VDI 2206, PTFE tape, Valve.

Abstrak

PTFE *tape* adalah material tambahan yang digunakan dalam proses pengencangan, terutama pada ulir atau sambungan drat. Fungsinya adalah untuk memberikan sifat penyegelan memastikan kekencangan dan pencegahan kebocoran pada antarmuka sambungan. Salah satu penerapan penting ditemukan pada sebuah fasilitas pemeliharaan tabung gas yang beroperasi di bawah otorisasi langsung dari PT Pertamina. Fasilitas ini menargetkan kapasitas operasional harian untuk menangani ribuan katup *Liquefied Petroleum Gas* (LPG). Namun, pemasangan PTFE *tape* pada setiap katup masih dilakukan secara manual, yang menimbulkan beberapa tantangan operasional terutama dalam hal efisiensi dan konsistensi. Penelitian ini berfokus pada perancangan perangkat otomatis untuk aplikasi PTFE *tape*. Tujuan utamanya adalah mengembangkan mesin penggulung PTFE *tape* otomatis untuk mengoptimalkan proses penyegelan dari segi kecepatan dan keandalan. Untuk mencapai hal ini, proses perancangan mengikuti pendekatan metodologi VDI 2206 dari *Verein Deutscher Ingenieure* (Asosiasi Insinyur Jerman) dan menggunakan perangkat lunak pemodelan 3D SolidWorks. Hasil akhirnya adalah mesin penggulung PTFE *tape* yang mampu beroperasi secara otomatis dengan waktu siklus 5-6 detik per katup, dan kapasitas produksi hingga 3.900 katup per hari.

Kata kunci: Katup, Metodologi VDI 2206, Penggulung Otomatis, PTFE *Tape*.

1. Pendahuluan

Bengkel Pemeliharaan Tabung (BPT) merupakan fasilitas yang beroperasi sebagai tempat pelaksanaan pekerjaan *retest*, *repaint*, dan/atau *repair* tabung LPG yang diadakan, disediakan, dan dibangun oleh pihak ke-2 yang namanya tidak dapat disebutkan (selanjutnya akan disebut sebagai PT. X), berdasarkan persetujuan

dari PT. Pertamina [1]. Berdasarkan fungsinya BPT memiliki standar operasional yang bekerja untuk menangani pemeliharaan gas curah 3 kg hingga 50 kg. Dalam standar operasional proses perbaikan pemeliharaan tabung LPG, BPT beroperasi sesuai dengan ketentuan *SNI ISO 9809-1:2019* mencakup pengetesan, perbaikan, dan pemeliharaan yang ditetapkan oleh

DOI: <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v15i1.4688>

Received 10 November 2026; Received in revised form 23 June 2026; Accepted 10 July 2026

Available online 15 July 2026



Badan Standardisasi Nasional pada tahun 2022 [2]. Selain itu, ditemukan bahwa jumlah pengguna gas dikabarkan terus bertambah. Berdasarkan data dari kementerian ESDM diperkirakan bertambahnya rasio konsumen pengguna LPG sebesar 7% dari 2015 hingga 2030 [3]. Validitas temuan ini didukung oleh data longitudinal dari Badan Pusat Statistik (BPS), yang mencerminkan tren peningkatan proporsi rumah tangga Indonesia yang menggunakan gas sebagai sumber energi utama dalam aktivitas domestik, khususnya memasak [4]. Peningkatan rasio penggunaan gas secara nasional berdampak langsung pada bertambahnya jumlah tabung yang beredar. Fenomena ini mendorong bengkel pemeliharaan tabung (BPT) untuk melakukan penyesuaian terhadap standar operasional di bengkelnya, guna mengantisipasi potensi gangguan teknis atau perubahan alur proses kerja di fasilitas pemeliharaan akibat peningkatan kapasitas.

Informasi mengenai kapasitas pemrosesan perbaikan tabung yang didapat dari sumber-sumber publikasi ilmiah menunjukkan angka yang bervariasi, namun pada dasarnya menyatakan bahwa kapasitas mesin yang digunakan merupakan faktor utama yang mempengaruhi angka tersebut. Secara spesifik, berdasarkan data yang dipublikasikan secara umum oleh fasilitas pemeliharaan PT. Petrogas Prima Services melaporkan volume penanganan signifikan hingga 1.2 juta tabung LPG 3 kg selama tahun 2021 [5], sementara SPBE PSO PT. Win Med Indonesia melaksanakan perbaikan (meliputi *retest*, *repair*, dan *repaint*) pada tabung cacat dengan rata-rata harian mencapai 450 hingga 500 tabung LPG 3kg [6]; mengacu pada standar operasional BPT, target kapasitas bengkel untuk perbaikan katup ditetapkan pada 1000 katup per hari (*single line process*) dan 2500 katup per hari (*double line process*), di mana target maksimum ini menjadi rujukan operasional bagi PT. X [2].

Katup atau *valve* adalah sebuah alat yang dipasang pada tabung dan berfungsi

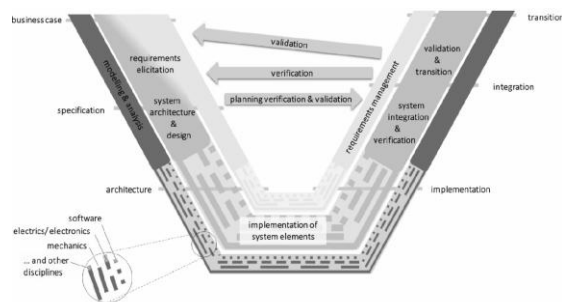
sebagai penyalur dan penahan gas. Terdapat dua jenis katup yang digunakan berdasarkan *SNI 15-1591-2008*, yaitu katup *quick on*, dan katup *handwheel* [7]. Ketentuan utama untuk proses pemasangan katup ke tabung adalah: pengencangan berdasarkan torsi terukur dan penggunaan bahan tambah PTFE *tape* yang direkatkan pada sambungan ulir katup dengan jumlah lilitan yang disarankan oleh acuan normatif *BS 7786:2006* tentang spesifikasi dan karakteristik *unsintered* PTFE *tapes* untuk penggunaan umum [8]. Kecenderungan pada perekatan PTFE *tape* yang salah akan berakibat fatal diantaranya adalah sifat *sealing* yang tidak tercapai menyebabkan kebocoran gas, atau munculnya retakan (*crack*) pada profil ulir yang juga akan berujung pada kebocoran gas.

Oleh karena itu, perekatan katup merupakan prosedur wajib di Bengkel Pemeliharaan Tabung (BPT) yang saat ini masih dilakukan secara manual oleh operator. Upaya yang akan dilakukan untuk memperbaiki, mempercepat, dan menjamin kualitas produksi di PT. X adalah melakukan otomatisasi pada proses perekatan PTFE *tape* ke katup. Otomatisasi ini dilakukan dengan pertimbangan proses perekatan manual dengan kemungkinan adanya peningkatan kapasitas produksi akan memberikan beberapa tantangan operasional serta meningkatkan risiko perekatan yang kurang optimal. Hal ini disebabkan diantaranya oleh: inkonsistensi gaya pada proses perekatan, PTFE *tape* yang lepas dari produk, lilitan yang kurang atau berlebihan, serta hasil pemotongan yang cacat.

Saat ini belum ada mesin *automatic PTFE tape wrapper* yang dirancang khusus untuk geometri katup LPG (ukuran $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ inci) yang menggunakan *tape* PTFE 19 mm, terlebih lagi, tanpa mengandalkan sistem pneumatik udara tekan. Sistem yang ada umumnya masih mengandalkan aktuatur pneumatik, atau mengandalkan proses manual yang memicu inkonsistensi regangan dan jumlah lilitan. Penelitian ini akan menghadirkan desain mesin *wrapper*

yang dirancang berdasarkan metodologi VDI 2206 dengan inovasi berupa sistem aktuator listrik dan kontrol lilitan, sehingga menghasilkan gaya regangan tarik yang stabil, tidak bergantung pada instalasi udara bertekanan, penyegelan yang optimal, dan mampu mereduksi risiko cacat lilitan. Solusi berupa sistem otomatisasi yang diterapkan juga diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi sumber daya.

2. Metode Penelitian

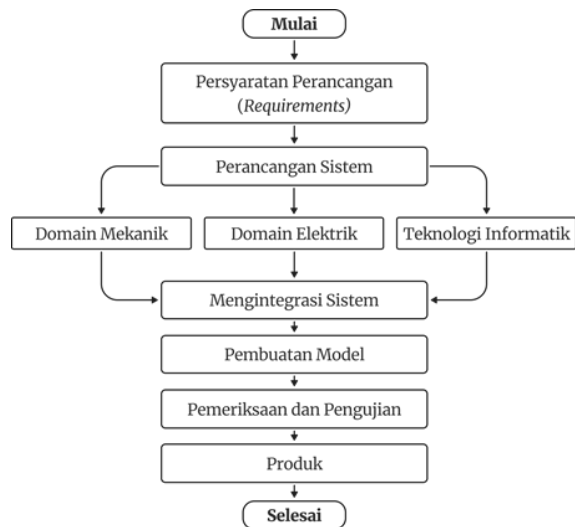


Gambar 1. The New V-Model [9]

Metodologi VDI 2206 dengan tahapan yang diilustrasikan oleh **Gambar 1** digunakan karena kemampuannya dalam memproses pengembangan konsep secara sistematis dengan melibatkan tiga bidang interdisipliner (*mechanical, electrical, information*), serta integrasi “adaptronik” sehingga didapat sebuah solusi sistem otomatis [9][10].

Gambar 2. menunjukkan alur penyelesaian dalam perancangan mesin *automatic seal tape wrapper*. Metodologi perancangan mesin *automatic PTFE tape wrapper* ini menggunakan pendekatan VDI 2206 yang terdiri dari enam tahapan utama. Tahap pertama adalah Persyaratan Perancangan (*Design Requirement*), yang berfokus pada penentuan batasan proyek melalui identifikasi masalah, pengumpulan data lapangan, dan penyusunan daftar persyaratan terukur sebagai acuan validasi. Selanjutnya, tahap Perancangan Sistem dan Domain Spesifik mendefinisikan struktur fungsi mesin secara keseluruhan yang dibagi ke dalam tiga domain utama: mekanik (mekanisme kerja dan konstruksi), elektrik

(sistem otomasi), dan teknologi informasi (antarmuka operator).



Gambar 2. Alur penelitian

Setelah konsep terdefinisi, tahap Integrasi Sistem (*System Integration*) menggabungkan seluruh sub-fungsi dan komponen dari ketiga domain tersebut ke dalam satu kesatuan sistem, lengkap dengan perhitungan geometri dan program kendali untuk menghasilkan tata letak definitif. Berdasarkan tata letak ini, dilakukan Pembuatan dan Analisis Model dalam format 3D untuk mengevaluasi titik lemah rancangan. Model 3D tersebut kemudian dievaluasi pada tahap Pemeriksaan dan Pengujian melalui simulasi *Computer-Aided Engineering* (CAE) guna memvalidasi kekuatan beban statis dan dinamis (mencegah resonansi) pada komponen kritis yaitu poros dan rangka utama, sesuai dengan kondisi akhir rancangan. Tahap terakhir adalah Produk, yang menghasilkan luaran berupa dokumen manufaktur lengkap, termasuk gambar perakitan, sub-perakitan, dan detail komponen.

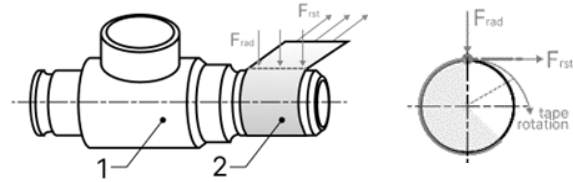
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penentuan Tuntutan Rancangan (*System Design Requirement*)

Tahapan penentuan tuntutan rancangan adalah tahap mengidentifikasi dan observasi informasi awal (*user survey*, studi literatur, dan riset produk eksisting) dan perumusan daftar persyaratan

perancangan mesin atau dikenal dengan istilah daftar tuntutan (*requirement list*).

Penambahan PTFE *tape* bertujuan untuk memberikan kemampuan sealing atau kedap pada sambungan ulir.



Gambar 3. Skema perekatan PTFE *tape*

Dikarenakan sifat PTFE *tape* yang *non-adhesive*, diperlukan tekanan permukaan tertentu untuk merekatkan *tape* agar PTFE *tape* (No. 2 pada **Gambar 3**) dapat menempel dengan efektif pada katup (No. 1 pada **Gambar 3**). Tekanan ini dihasilkan melalui gaya regangan PTFE *tape* (F_{rst}) [11], dan gaya tekan radial (F_{rad}) yang perlu difasilitasi oleh sistem mesin, serta gerak rotasi (ω_0) untuk penggulungan seperti yang ditunjukkan **Gambar 3**. Gaya regangan (F_{rst}) pada PTFE *tape* harus di bawah batas kekuatan-tariknya agar tidak rusak saat proses perekatan.

Hasil pengumpulan informasi selanjutnya diterjemahkan menjadi daftar tuntutan (**Tabel 1**) yang digunakan sebagai acuan dalam merancang mesin.

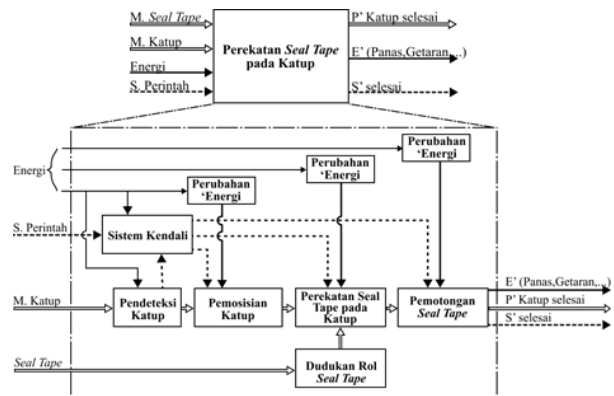
Tabel 1. Daftar tuntutan perancangan.

No.	Parameter	Spesifikasi
1	Force tape control	≤ 36.25 N
2	Material input	Katup $\frac{1}{2}$ s.d $\frac{3}{4}$ inch
3	Bahan Input	PTFE <i>tape</i> tebal 0.075 mm, dan Lebar 19mm
4	Jumlah penggulungan	Standar 1-3 lilitan (dapat diatur sesuai kebutuhan)
5	Kapasitas Kerja Minimum	2500 katup/hari
6	Waktu Proses Maksimum	≤ 10 detik/ katup

3.2 Tahapan Perancangan Sistem

Gambar 4. menyajikan struktur alur fungsi mesin *automatic sealtape wrapper* yang dirancang untuk memahami dasar cara kerja mesin. Konsep ini mencakup tiga

komponen utama, yaitu: *input* – merupakan sumber daya awal yang diterima mesin, proses – menggambarkan mekanisme pengolahan *input*, dan *output* – hasil akhir yang dihasilkan oleh sistem. Pemahaman terhadap alur ini menjadi dasar dalam analisis dan pengembangan desain mesin secara sistematis.



Gambar 4. Diagram fungsi sistem

3.3 Tahapan Domain Spesifik Desain

Proses perancangan melibatkan domain interdisipliner, yaitu: domain mekanik, domain elektrik, dan teknologi informatika.

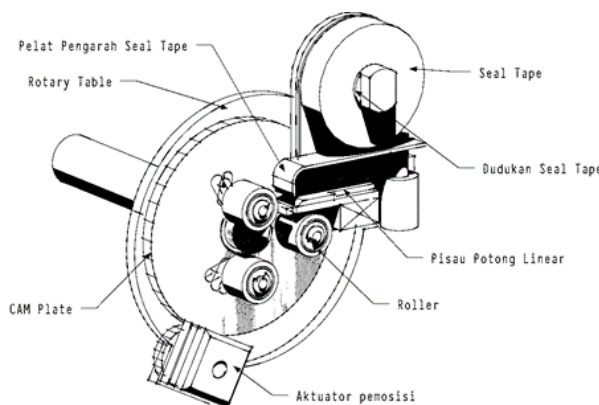
3.3.1 Domain Mekanik (*Mechanical*)

Perancangan sistem mekanik mengacu pada pendekatan konseptual dari “Pahl dan Beitz” [12], dimulai dengan identifikasi sub-fungsi mesin (pemosisian, penggulungan, dudukan PTFE *tape*, dan pemotongan *tape*). Kemudian dilakukan *brainstorming* ide dan konsep untuk menentukan beberapa prinsip solusi yang sesuai dengan kebutuhan fungsi mesin menggunakan kotak morfologi (**Gambar 5**).

Prinsip Solusi Sistem	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
A Fungsi Pemosisian Katup					
B Fungsi Penggulungan					
C Fungsi Dudukan Seal Tape					
D Fungsi Pemotongan Seal Tape					

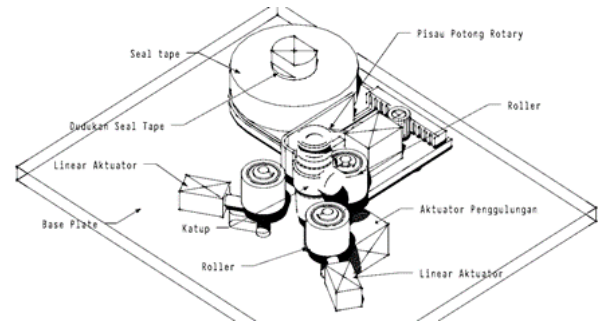
Gambar 5. Kotak morfologi

Prinsip solusi yang ada kemudian dikombinasikan menjadi beberapa Alternatif Variasi Konsep (AVK).



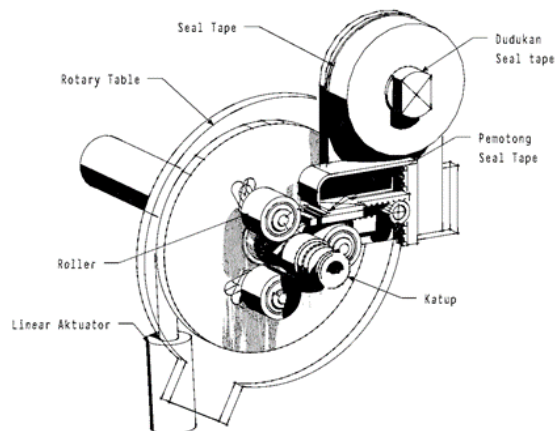
Gambar 6. Alternatif Variasi Konsep ke-1 (AVK-1)

Alternatif Variasi Konsep Ke-1 (**Gambar 6**) solusi fungsi mekanisme pemosisian menggunakan *cam plate* dengan aktuator putar (*rotary actuator*) yang menghasilkan gerak responsif, dipadukan dengan penggulungan metode *surface winding*. Ketegangan seal tape diatur secara sederhana melalui gesekan pada dudukan. Kelemahannya adalah tata letak komponen yang asimetris terhadap sumbu putar, sehingga menggeser titik berat (*center of gravity*) dan berpotensi menimbulkan getaran serta beban torsi.



Gambar 7. Alternatif Variasi Konsep ke-2 (AVK-2)

Alternatif Variasi Konsep Ke-2 (**Gambar 7**) mekanisme pemosisian beroperasi menggunakan dua aktuator linier untuk menjepit katup, sedangkan penggulungan dilakukan dengan memutar salah satu *roller* pencekam seperti mesin *labelling* kemasan air mineral. Keunggulan konsep ini adalah beban putaran yang sangat ringan. Namun, kekurangannya adalah perlunya penambahan fixture penahan khusus guna memastikan katup tidak terlepas saat penggulungan.



Gambar 8. Alternatif Variasi Konsep ke-3 (AVK-3)

Alternatif Variasi Konsep Ke-3 (**Gambar 8**) Menggabungkan mekanisme *cam plate* yang digerakkan oleh penggerak linier (*lead screw*) dengan penggulungan metode *surface winding*. Konsep ini memiliki gaya cekam radial yang sangat kuat dan stabil berkat sifat *self-locking* pada *lead screw*. Kekurangannya adalah waktu pemosisian yang lebih lambat serta sistem pemotongan *hot wire* (memerlukan setidaknya suhu $>300^{\circ}\text{C}$ untuk memotong *tape* PTFE) yang kurang efisien.

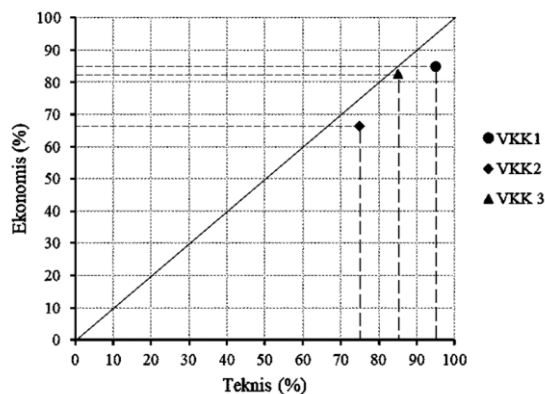
Setiap Alternatif Variasi Konsep (AVK) yang telah didapat, selanjutnya dinilai dengan pedoman *VDI 2225* berdasarkan aspek teknis dan ekonomis menggunakan nilai berskala 1–4 [12]. Hasil dari proses penilaian variasi konsep ditampilkan pada **Tabel 2** dan **Gambar 9**.

Tabel 2. penilaian variasi konsep domain *mechanical*.

Penilaian Aspek Teknis									
Parameter	Bobot (%)	VK-1		VK-2		VK-3		Nilai Ideal	
Ketercapain posisi sumbu putar katup	0.4	4	1.6	3	1.2	4	1.6	1.6	
Kemampuan <i>handling</i> katup	0.2	4	0.8	1	0.2	3	0.6	0.8	
Efektif pemotongan <i>seal tape</i>	0.2	3	0.3	4	0.8	2	0.4	0.8	
Kemampuan kontrol regangan <i>seal tape</i>	0.2	4	0.8	4	0.8	4	0.8	0.8	
Nilai Total	1	15	3.5	12	3.0	13	3.4	4	
Persentase		87.5%		75%		85%		100%	
Penilaian Aspek Teknis									
Parameter	Bobot (%)	VK-1		VK-2		VK-3		Nilai Ideal	
Kemudahan perakitan	0.35	4	1.4	2	0.7	3	1.05	1.4	
Kemudahan perawatan	0.35	4	1.4	3	1.05	3	1.05	1.4	
Penggunaan komponen standar	0.3	2	0.6	3	0.9	4	1.2	1.2	
Nilai Total	1	10	3.4	8	2.65	10	3.3	4	
Persentase		85%		66.25%		82.5%		100%	

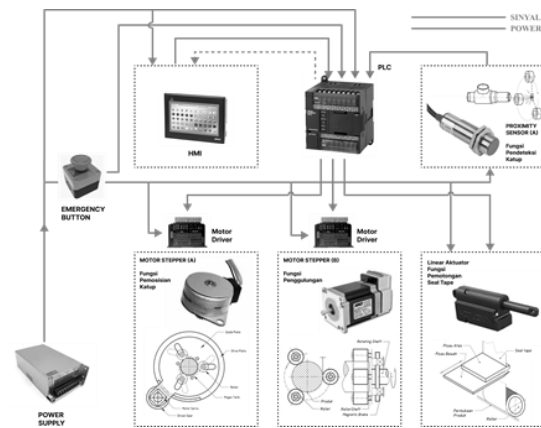
Dari hasil penilaian didapat AVK-1 menunjukkan nilai dengan kriteria teknis dan ekonomis paling optimal, sehingga konsep sistem mekanik AVK-1 digunakan dalam rancangan.

Grafik Komparasi Variasi Konsep Kombinasi



Gambar 9. grafik komparasi variasi konsep

3.3.2 Domain Elektrik (*Electrical*)



Gambar 10. Gambaran umum sistem elektrik

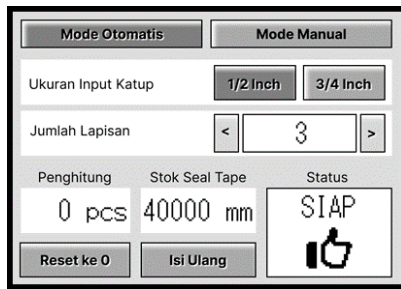
Domain elektrik memiliki fokus untuk memenuhi kriteria gerak atau mekanisme yang telah dirancang pada domain mekanik. **Gambar 10.** memperlihatkan gambaran umum dari konsep sistem elektrikal pada mesin. Sistem otomatis dengan PLC sebagai sistem kendali utama, dibantu dengan HMI sebagai antarmuka pengguna sehingga penggunaan komponen lebih sedikit, fleksibel, terstandarisasi, dan mesin lebih mudah dioperasikan. Sistem penggerak untuk fungsi pemutar dan pemosisi memanfaatkan motor *stepper* sebagai aktuator, sedangkan fungsi pemotongan PTFE *tape* dikendalikan oleh aktuator linear. Sistem deteksi katup menggunakan sensor *proximity* kapasitif untuk mendeteksi apakah tape sudah pada tempatnya. Seluruh sistem memperoleh sumber energi listrik yang didistribusikan melalui unit *power supply*.

3.3.3 Teknologi Informasi (*Information*)

Informasi teknologi berperan dalam pengolahan data siklus penggulangan dan menyampaikan data tersebut ke *cloud storage* yang memungkinkan data operasional tiap mesin untuk dimonitor dari mana saja melalui berbagai gawai oleh pihak yang berwenang.

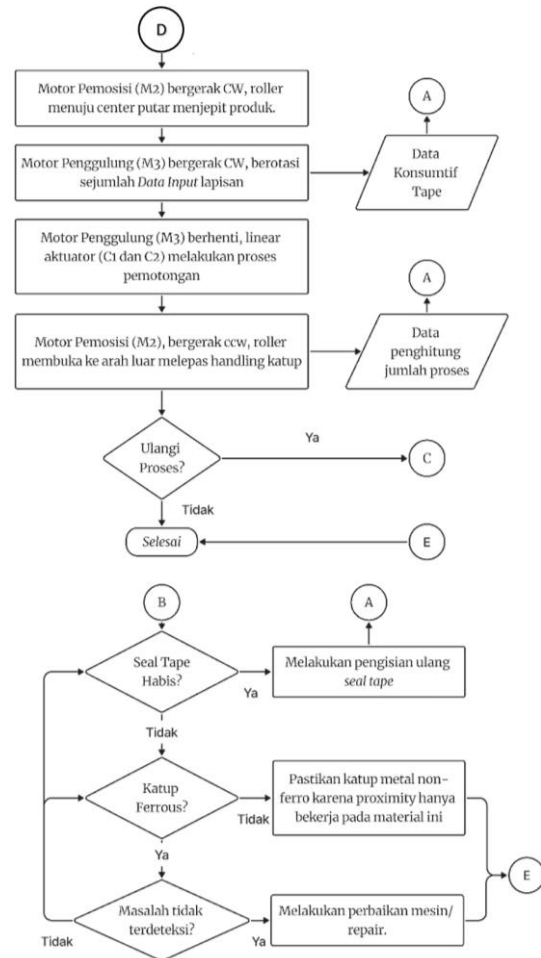
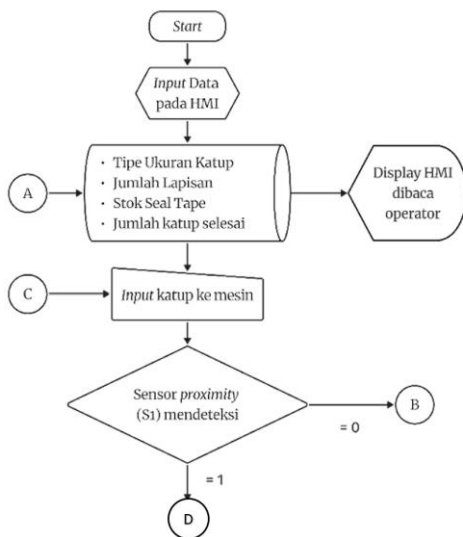
Gambar 11. memperlihatkan tampilan sistem interface mesin pada HMI. Dalam tampilan tersebut terdapat beberapa informasi dan parameter pengaturan yang tersimpan pada *cloud storage* diantaranya

adalah jumlah lapisan, siklus mesin, dan indikator stok yang tersisa pada mesin..



Gambar 11. Tampilan Interface

Gambar 12. menunjukkan bagaimana rancangan sistem bekerja dan berinteraksi ketika mesin sedang beroperasi.

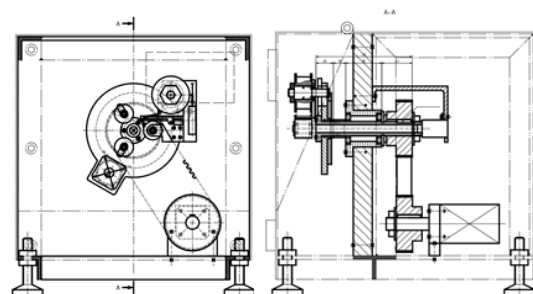


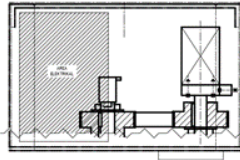
Gambar 12. Flowchart sistem kendali mesin

3.4 Tahapan Sistem Integrasi

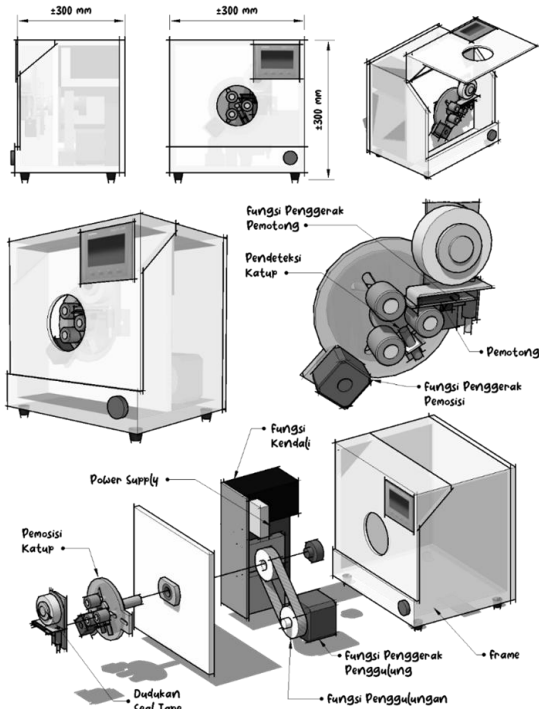
Sistem integrasi merupakan proses penggabungan berbagai elemen meliputi fungsi, sub-fungsi, komponen, dan sistem yang berasal dari masing-masing domain, dan sebelumnya telah dirancang pada tahap perancangan sistem dan domain spesifik.

Proses ini bertujuan untuk membentuk suatu kesatuan mesin yang utuh dan terkoordinasi, dengan memastikan bahwa seluruh sistem yang terintegrasi memenuhi persyaratan fungsional dan teknis yang telah ditetapkan sebelumnya.





Gambar 13. Skematik dan *Layout* Mesin



Gambar 14. Sketsa konsep dan *layout* mesin

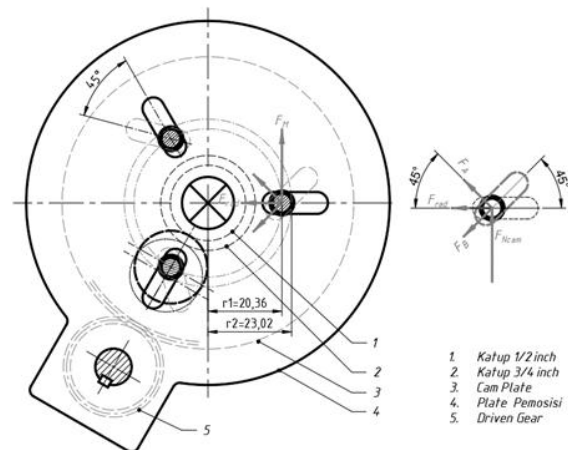
Gambar 13. dan **Gambar 14.** memperlihatkan gambaran awal mesin yaitu berupa skematik dan tata letak mesin berdasarkan konsep terpilih dari tiap domain yang memperlihatkan hubungan dari setiap sistem. Tata letak ini menjadi acuan dalam perhitungan dan konfigurasi komponen-komponen yang digunakan. Dalam gambar skematik telah diperkirakan dimensi kasar berdasarkan pertimbangan dari geometri produk katup dan hubungan antara komponen/*part* yang digunakan.

Dilakukan proses merealisasikan konsep melalui tahapan konfigurasi dan perhitungan yang selanjutnya dijelaskan pada **Bagian 3.4.1** s.d **3.4.5** *outputnya* berupa spesifikasi mesin yang ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Spesifikasi mesin.

Aspek	Spesifikasi
Standar Katup yang diproses	3/4-14 Inch. dan 1/2 -14 Inch.
Kecepatan Proses mesin 1 cycle	3 gulungan
Tipe Seal tape <i>Input</i>	Seal tape standar lebar 19mm dengan tipe <i>spool</i> isi panjang tape maksimum 40m
Geometri mesin	456x453x391
Berat mesin	43kg
Sistem kendali	PLC
Penggunaan Daya	240VAC <i>Input</i>
Sistem <i>Interface</i>	HMI
Penggerak	Motor <i>Stepper</i> 60 Series (Fungsi Penggulung) Motor <i>Stepper</i> 35 Series (Fungsi Pemosisi) Miniature Linear Actuator L12-10-210 (Fungsi Dudukan Seal Tape) Miniature Linear Actuator L12-30-120 (Fungsi Pemotong Tape)
Material deteksi	Semua katup <i>non-ferro</i>
Fitur keamanan	<i>Emergency button</i> , <i>push button on/off</i> .

3.4.1 Perhitungan dan Konfigurasi Sistem Pemosisian



Gambar 15. Skematik sistem pemosisian

Katup diposisikan pada senter putar diarahkan oleh ke-tiga *roller* dengan memberikan gaya jepit radial (F_{rad}) sebagai reaksi dari gaya putar *cam plate* oleh *driven gear* seperti yang digambarkan **Gambar 15**. Besar minimum dapat diketahui melalui **Persamaan 1**.

$$F_{ges} \geq F_{rst} \Rightarrow F_{rad} \times \mu_s \geq F_{rst} \quad (1)$$

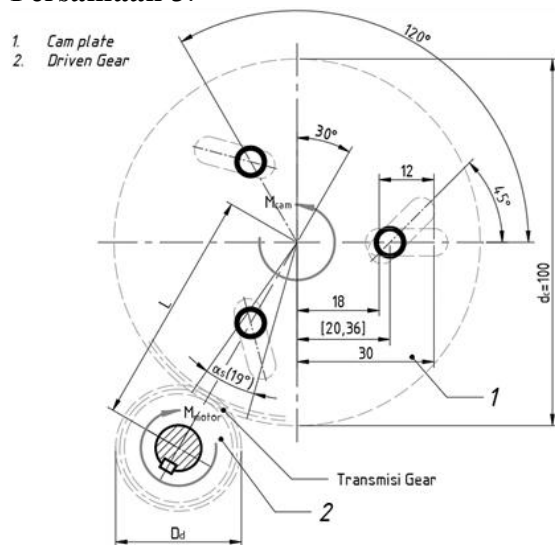
Dimana μ_s adalah koefisien gesek efektif material (PTFE *tape*, *roller*, dan katup), dan F_{rst} adalah gaya regangan *tape* rencana $\langle N \rangle$.

Gaya jepit radial dihasilkan dari momen *cam plate* (M_{cam}) $\langle Nm \rangle$, besar momen didapat melalui **Persamaan 2.** berikut:

$$M_{cam} = F_{Ncam} \times r \quad (2)$$

Dengan (F_{Ncam}) adalah gaya aksi radial yang diperlukan $\langle N \rangle$ dan (r) adalah jarak efektif *roller* $\langle mm \rangle$ ketika jarak dalam posisi *handling* katup.

Besar kecepatan yang diperlukan motor stepper dipengaruhi oleh jarak sudut gerak yang diperlukan *cam plate* ($\alpha_s = 19^\circ$) **Gambar 16.** Nilai besar kecepatan putar (n_2) $\langle rad/s \rangle$ dipengaruhi oleh faktor waktu yang ditempuh (T_2) $\langle s \rangle$ diperoleh melalui **Persamaan 3.**



Gambar 16. Geometri dan Dimensi *Cam Plate*

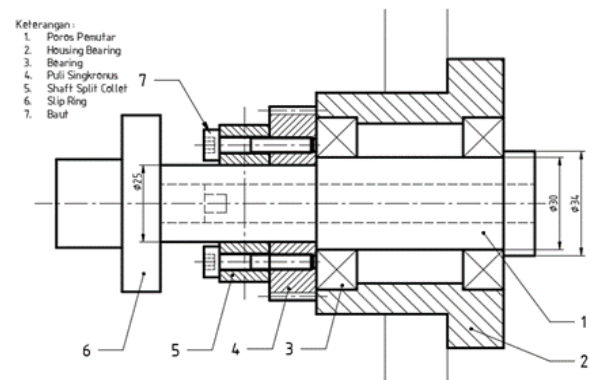
$$n_2 = \frac{\alpha_s \frac{1}{360deg}}{T_2} \times 60s \quad (3)$$

Besar tahanan torsi/ *holding torque* (T_{nenn}) $\langle Nmm \rangle$ yang perlu difasilitasi motor *stepper* sebagai *driver* yang digunakan dipengaruhi oleh rasio (i) dari hubungan roda gigi antara *pinion* (No.2) dan *cam plate* (No.1) (**Gambar 16**).

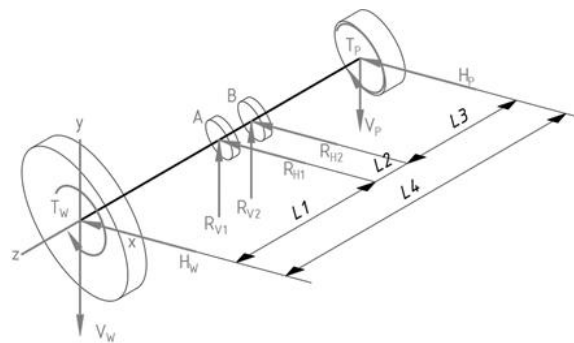
$$T_{nenn} = M_{cam} \times i \quad (4)$$

3.4.2 Perhitungan dan Konfigurasi Sistem Penggulangan

Fungsi penggulangan berperan memiliki fungsi utama yaitu memberikan gerakan rotasi penggulangan *tape*, jenis poros harus memiliki rongga sebagai jalan kabel dari sistem (W) menuju *slip ring* (No.6). Skema dan konstruksinya dapat dilihat pada **Gambar 17.**



Gambar 17. Skematik konstruksi poros



Gambar 18. Diagram Benda Bebas Konstruksi Poros

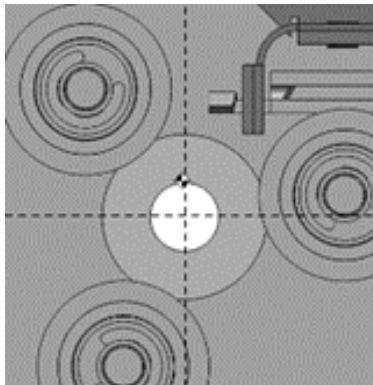
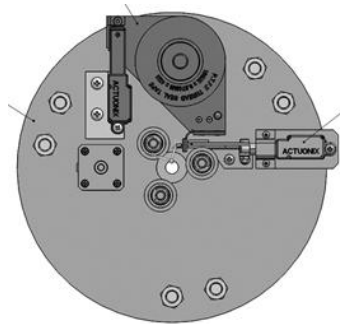
Gambar 18. menunjukkan gaya dan beban yang bekerja pada poros. Besarnya diperlukan identifikasi dan analisis, hasilnya didapat pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Data nilai pembebanan pada poros

Parameter	Simbol	Diketahui
Berat Sistem Langsung	V_w	54.12 N
Gaya <i>tangensial</i> Sistem	H_w	0.33 N
Beban Torsi Sistem	T_w	0.702 Nm
Inersia sistem	I_w	0.035 kg.m ²
Penumpu Bantalan 1 (V)	R_{v1}	54.12 N
Penumpu Bantalan 1 (H)	R_{h1}	37.51 N
Penumpu Bantalan 2 (V)	R_{v2}	-3.96 N
Penumpu Bantalan 2 (H)	R_{h2}	-6.31 N
Gaya radial puli	V_p	34.32 N
Gaya <i>tangensial</i> puli	H_p	-31.2 N

Besar kebutuhan torsi puli (T_p) akan lebih besar atau sama dengan besar torsi sistem. Besar Torsi sistem (T_w) didapat dengan menjumlahkan momen axial yang bekerja pada poros yaitu momen inersia sistem (M_I) dan momen puntir sistem (M_w) dalam satuan $\langle Nm \rangle$.

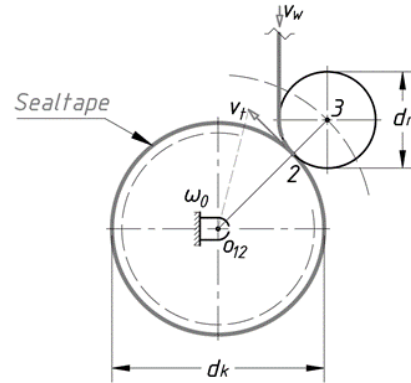
Besar (M_w) dijadikan pertimbangan utama dalam perhitungan karena sistem dan konstruksi mesin memiliki massa terpusat (CoG) yang tidak berada pada sumbu putarnya seperti yang ditampilkan **Gambar 19**. Ketidaktepatan massa berat tersebut menyebabkan poros bergetar berlebih dan berisiko gagal secara struktural jika tidak dilakukan analisis lebih lanjut.



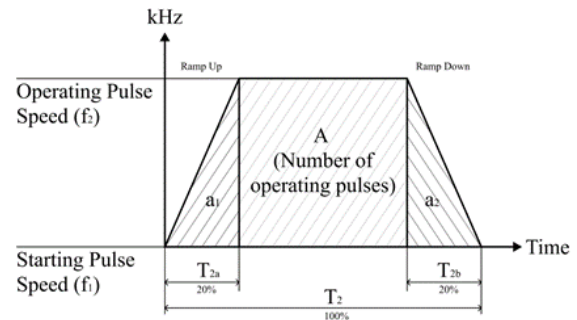
Gambar 19. Sistem mesin

Meninjau skema mekanisme penggulangannya **Gambar 20**, kecepatan putar (n_1) proses penggulangan dihasilkan dari putaran motor *stepper* yang nilainya didapat melalui **Persamaan 5, 6, dan 7**. Pengaturan akselerasi dan deselerasi (a) pada putaran motor esensial untuk mencegah *lose step*, yang dapat mengakibatkan ketidakakuratan perhitungan putaran nilai akselerasi dan

deselerasi (a) didapat melalui **Persamaan 8**. Waktu standar yang direkomendasikan untuk proses ini adalah antara 20% hingga 25% dari total waktu tempuh proses (lihat **Gambar 21**) [13].



Gambar 20. Skema gerak roller (d_r) pada proses penggulangan seal tape (d_k)



Gambar 21. Grafik kecepatan/ percepatan motor *stepper*

$$A = N_{lap} \times \frac{360^\circ}{\alpha_s} \quad (5)$$

$$f_2 = \frac{A - f_1 \times T_2}{\Delta T_2} \quad (6)$$

$$n_1 = f_2 \times \frac{60}{\theta_s} \quad (7)$$

$$a = \frac{T_{2a}}{f_2 - f_1} \quad (8)$$

Dengan:

A = Banyaknya pulse (Hz)

N_{lap} = Jumlah Penggulangan

α_s = besar step/ langkah (deg)

f_1 = frekuensi awal (Hz)

f_2 = frekuensi akhir (Hz)

θ_s = resolusi motor/putaran

T_2 = waktu yang diperlukan (s)

T_{2a} = waktu akselerasi diberikan

$$J_{stepper} = \frac{T_W}{a} \quad (9)$$

Sistemudukan PTFE *tape* berfungsi sebagai tempat penyimpanan stok pada mesin. Untuk mendukung kinerja mekanis, sistem ini harus memiliki karakteristik *detent torque* guna menghasilkan regangan (F_{st}) ke *tape* yang diperlukan selama proses kerja.

1. Dudukan Seal Tape
 2. Seal Tape Roll/Spool
 3. Ptfre friction plate
 4. Wave washer
 5. Round Nut Knurled
 6. Bearing OD=25
 7. Spacer Bearing

Gaya gesek yang digunakan adalah gaya gesek kinetik besarnya ditentukan berdasarkan gaya tekan/ normal (F_N) yang ingin dihasilkan dari komponen spring washer No.4 melalui **Persamaan 10** berikut:

Dengan:

μ = koef. Gesek kinetik

r = jarak radius efektif (mm)

Fungsi utama sistem ini adalah memotong seal tape. Namun, karakteristik seal tape yang tipis dan fleksibel menjadi tantangan tersendiri dalam proses perancangannya.

1 Seal tape
2 Pisuai puting gerak
3 Pisuai tetap

Diperlukan kecepatan gerak linear yang sesuai, dengan mempertimbangkan gaya potong dan gaya gesek antara bilah pisau sebagai faktor utama dalam efektivitas pemotongan. Kecepatan gerak linear (v_3) didapat melalui **Persamaan 10**.

$$v_3 = \frac{\Delta l_3}{T_3} \quad (10)$$

Dengan:

$$\Delta l_3 = \text{jarak lintasan (mm)}$$
$$T_3 = \text{waktu tempuh (s)}$$

Untuk gaya-gaya yang bekerja pada pemotong digunakan **Persamaan 11, 12, dan 13** sebagai berikut:

$$\delta = \frac{F_{pt} \cdot L_3}{3EI} \Leftrightarrow F_{pt} = \frac{\delta 3EI}{L_3} \quad (11)$$

$$F_{ges} = F_{pt} \times \mu_k \quad (12)$$

$$F_{pt} = 0.5(F_{maks}) \quad (13)$$

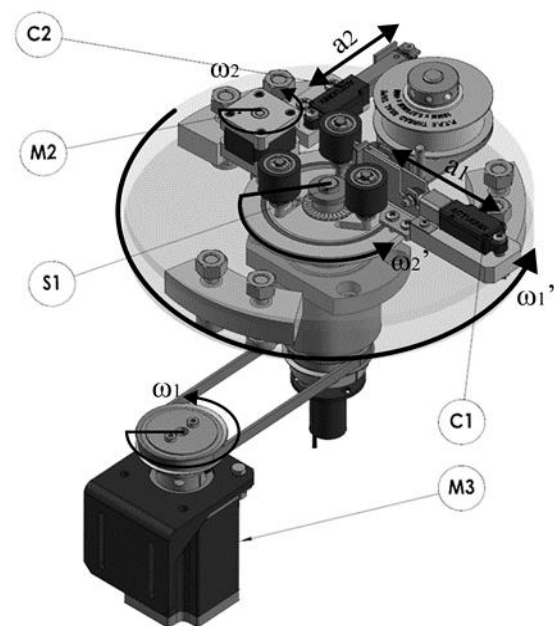
Dengan:

- δ = defleksi pisau tetap (mm)
- F_{pt} = Gaya vertikal pisau (N)
- E = elastisitas material (Gpa)
- I = Inersia penampang (mm⁴)
- L = Panjang penampang (mm)
- μ_k = koef. Gesek pisau
- F_{ges} = Gaya gesek (N)
- F_{pot} = Total Gaya horizontal (N)
- F_{maks} = gaya regang PTFE tape (N)

Digunakan aktuator linear sesuai dengan kebutuhan dan kriteria proses pemotongan yaitu berdasarkan jumlah gaya horizontal yang bekerja (F_{pot} , F_{ges}) dan waktu tempuhnya (v_3) dalam satu langkah.

3.4.5 Konfigurasi Sistem Kendali

Sistem diaktifkan oleh sinyal dari sensor *proximity* (S1), yang memicu motor stepper (M2) bergerak secara *on/off* tanpa hingga roller menjepit katup dan PTFE *tape*. Selanjutnya, motor stepper (M3) berputar sesuai jumlah input penggulungan (N_{lap}). Setelah jumlah penggulungan tercapai, sistem pemotongan menggerakkan aktuator pneumatik (C2) ke arah positif untuk mengangkat dudukan PTFE *tape*, diikuti oleh aktuator (C1) yang melakukan pemotongan dalam satu siklus. Terakhir, aktuator (C2) kembali ke arah negatif bersamaan dengan motor (M2) untuk melepaskan jepitan roller (lihat **Gambar 24**).



Gambar 24. Sistem mesin



Gambar 25. Diagram Sekuensial

Tabel 5. Alokasi I/O sistem kendali

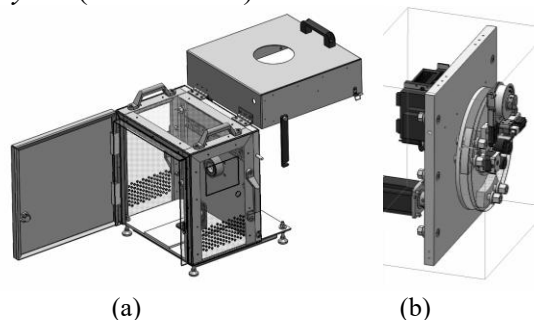
S	Komponen	Alamat	Acuan Waktu	Keterangan
1	Sensor S1	1.00	0s	Deteksi Signal
2	M2 (CW)	100.00	0.5s	Pulse Output (DIR00 CW)
3	M3 (on)	100.01	3s	Pulse Output DIR (CCW)
4	M2 (CCW)	100.02	0.5s	Pulse Output (DIR01 CCW)
5	C2 (A+)	100.03	0.5s	Silinder 2 posisi A+
6	C1 (A+)	100.04	0.5s	Silinder 1 posisi A+
7	C1 (A-)	100.05	0.5s	Silinder 1 posisi A-
8	C2 (A-)	100.06	0.5s	Silinder 2 posisi A- (Restart Operation)

Setelah setiap komponen dan alur proses terdefinisi selanjutnya merancang sistem pemrograman sesuai PLC yang digunakan dengan kriteria dan alokasi yang ditampilkan pada **Tabel 5**.

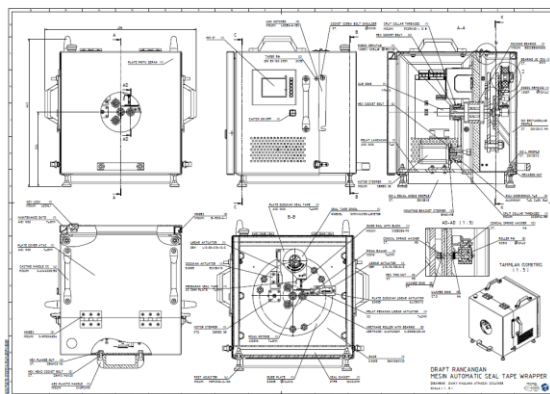
3.5 Pembuatan Model (3D Modelling)

Tahap ini bertujuan menghasilkan model 3D secara detail dari konstruksi mesin berdasarkan definisi desain (konsep, dan perhitungan) dari tahap sebelumnya hingga *assembly* (**Gambar 26**) dengan dimensi akhir 450 x 450 x 445 mm. Proses pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks.

Selain itu pada tahap ini juga dihasilkan gambar draft mesin/ *definitive layout* (**Gambar 27**).



Gambar 26. 3D model mesin (a) casing, (b) sistem mesin



Gambar 27. Gambar Draft/ *definitive layout*

3.6 Pemeriksaan dan Pengujian

Proses pada tahap pemeriksaan dan pengujian rancangan mesin diverifikasi dan validasi rancangan berdasarkan daftar persyaratan perancangan.

3.6.1 Kesesuaian dengan Daftar Persyaratan

Pengendalian gaya tegangan pada PTFE *tape* dicapai melalui mekanisme dudukan dan penyesuaian dimensi berdasarkan standar *spool* PTFE *tape* yang tersedia di pasaran. Dimensi mesin dirancang sesuai dengan ukuran katup yang diproses. Jumlah penggulangan dikendalikan melalui sistem integrasi elektrik dan informatik yang terprogram dalam mesin.

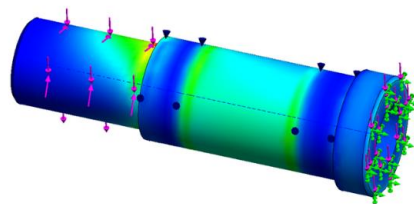
3.6.2 Kapasitas Mesin

Kebutuhan kapasitas penggulangan minimum sebesar 2.500 katup per hari dapat dipenuhi oleh sistem, dengan waktu siklus 6–7 detik per katup. Sehingga dalam durasi kerja 7 jam per hari, mesin mampu mengerjakan 3.600 katup, melampaui target produksi harian yang ditetapkan.

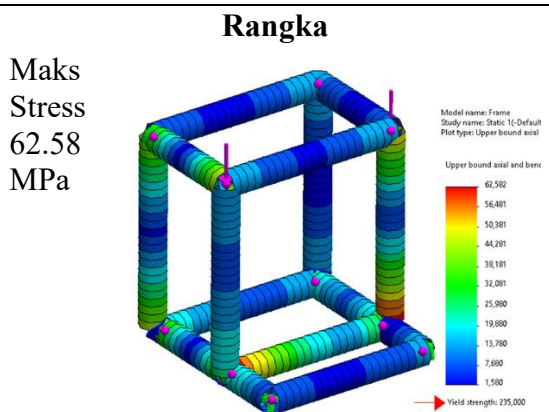
3.6.3 Analisis Kekuatan Struktural

Untuk mencegah potensi kegagalan sistem, dilakukan analisis kekuatan terhadap beban dan getaran dinamis menggunakan metode *Computer-Aided Engineering* (CAE). Analisis ini dilakukan pada *Solidworks* dengan simulasi statis. Hasil analisis untuk kategori pembebanan statis disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil Analisis Statis Komponen Kritis

Poros Pemutar	
Maks Stress	
1.02	
MPa	

Didapat tegangan maksimum yaitu hanya di angka 1.02 MPa pada batas yield strength material yaitu 235 MPa (*Standard Mesh type, sizing 3 mm*). Memberikan kesimpulan bahwa rancangan poros yang dibuat tidak melampaui batas kemampuan material.



Didapat hasil analisis tegangan dengan nilai tegangan maksimum ada pada angka 62.58 MPa di mana nilai ini besarnya sangat jauh dari besar tegangan ijin material S235JR baja profil yaitu 235 MPa (Standard mesh type, sizing 15 mm).

Getaran akibat konversi energi menjadi gerak berisiko menimbulkan resonansi jika frekuensi alami dan operasional berimpit, maka mengakibatkan amplitudo dan menyebabkan kelelahan material atau kerusakan bearing.

Pencegahan dilakukan dengan prinsip “factor of 2”, yaitu frekuensi alami minimal dua kali frekuensi operasional [14]. Nilai frekuensi alami diperoleh melalui simulasi SolidWorks dengan kondisi beban sesuai konstruksi. Hasil dari simulasi diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Simulasi Dinamis Sistem Mesin

Sistem Mesin			
Model name: Analisis Frekuensi 1 Study name: Frequency 1(-Default) Plot type: Frequency Amplitude 1 Mode shape: 1 Value = 14,489 Hz Deformation scale: 0.014322 AMPIRES 7,400e-01 6,719e-01 6,039e-01 5,358e-01 4,677e-01 3,996e-01 3,315e-01 2,634e-01 1,953e-01 1,272e-01 5,880e-02 Mode shape: 1			
Mode No	Frek (Rad/s)	Frek (Hertz)	Period (Sec)
1	2217.6	352.94	0.00283
2	2256.6	359.15	0.00278
3	2258.9	359.52	0.00278

Didapat nilai frekuensi alami (f_{natural}) yaitu 2217.6 rad/s (21176.5 rpm) atau 352.94 Hz. Sementara sistem berputar dengan putaran 8.38 rad/s (80 rpm) berdasarkan prinsip “faktor of 2” sistem akan menghasilkan besar frekuensi 264 kali lebih besar dari jarak faktor aman. Hal ini membuktikan sistem tidak akan beresonansi terhadap gerak operasi jika masih dalam kecepatan marginnya.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil merancang sebuah mesin *Automatic PTFE Tape Wrapper* yang bertujuan mengoptimalkan proses perekatan katup LPG di Bengkel Pemeliharaan Tabung (BPT) PT X. Rancangan ini mengacu pada metodologi VDI 2206, dengan mengintegrasikan domain mekanik, elektrik, dan teknologi informasi. Hasilnya adalah desain mesin yang mampu beroperasi secara otomatis, dengan siklus waktu 6-7 detik per katup dan kapasitas kerja harian maksimum hingga 3.600 katup.

Sebagai langkah selanjutnya, disarankan untuk melanjutkan, pengembangan lebih lanjut dapat mencakup penambahan fitur otomatisasi untuk pengangkutan dan pengambilan katupnya (*pick and place*).

5. Referensi

- [1] Pertamina Patra Niaga. (2024). *Info BPT PSO*. Keagenan LPG. Retrieved November 24, 2024, from <https://kemitraan-patraniaga.com/info/bpt-psy>
- [2] PT. Pertamina (Persero)/ Direktorat Pemasaran Unit Domestic Gas. (2022, February 23). *Standarisasi Sarana Fasilitas dan Pedoman Operasional Bengkel Pemeliharaan Tabung LPG* [PDF]. Retrieved November 22, 2024, from www.pertamina.com
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2014, Oktober 20). *Pertumbuhan Kebutuhan Gas Bumi 2015–2030*

- Capai 7 Persen. Retrieved January 25, 2024, from <https://migas.esdm.go.id/post/read/Pertumbuhan-Kebutuhan-Gas-Bumi-2015-2030-Capai-7-Persen>
- [4] Badan Pusat Statistik Republik Indonesia. (2024, Mei 6). Rasio Penggunaan Gas Rumah Tangga. BPS - Statistik Indonesia. Retrieved January 25, 2024, from <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTE1NyMy/rasio-penggunaan-gas-rumah-tangga.html>
- [5] A. Wicaksono, A. Z. Al-Faritsy, "Analisis Perhitungan Dan Perbaikan Tingkat Produktivitas Pada Area Servis Tabung Gas Menggunakan OMAX," COSMIC JURNAL TEKNIK, vol. 2, no. 2, pp. 86-98, 2024.
- [6] Rachmanda, M. R., Widjaja, F. N., & Tedjakusuma, A. P. (2024). Pengendalian Kualitas Produk Cacat Elpiji 3 Kg dengan Menggunakan Siklus Plan Do Check Action (PDCA) pada SPPBE PSO SPPBE PSO PT. Win Med Indonesia. *Journal of Economics, Assets, and Evaluation*, 1(4), 1-15. [10.47134/jeae.v1i4.315](https://doi.org/10.47134/jeae.v1i4.315)
- [7] Panitia Teknis ICS 20-01: Pemesinan dan Produk Pemesinan. (2008). SNI 1591:2008 - Katup Tabung Baja LPG. Badan Standardisasi Nasional. https://bsn.go.id/uploads/download/Hanbook_kompor_gas_dan_kelengkapannya_watermarked1.pdf
- [8] Technical Committee PSE/2. (2006). BS 7786:2006 Specification for unsintered PTFE tapes for general use. British Standard Institution.
- [9] Gräßler, I., & Hentze, J. (2020, April 30). The new V-Model of VDI 2206 and its validation. *Automatisierungstechnik*, 68(5), 312-324. [10.1515/auto-2020-0015](https://doi.org/10.1515/auto-2020-0015)
- [10] Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeler, & Dr.-Ing. S. Moehringer. (2002, Desember). VDI 1206 - A NEW GUIDELINE FOR THE DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEMS. IFAC Proceedings Volumes, 35(2), 785-790. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)34035-1](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)34035-1)
- [11] Hua Su, & Zhang, X. (2016, Mei). On the Mechanical Analysis and Control for the Tension System of the Cylindrical Filament Winding. *Journal of Textile Science and Technology*, 2(2). <http://dx.doi.org/10.4236/jtst.2016.2002>
- [12] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2007). Engineering Design: A Systematic Approach (K. Wallace & L. Blessing, Eds.; 3rd ed.). Springer. ISBN-10: 1846283183
- [13] Oriental Motor USA. (2017). F - Technical Reference. Retrieved February 19, 2025, from https://www.orientalmotor.com/products/pdfs/F_TecRef/TecRefAll.pdf
- [14] Achatz, T. (n.d.). Resonance and the Factor of 2 Rule. *Vibration Research*. Retrieved October 3, 2025, from <https://vibrationresearch.com/resources/resonance-factor-of-2-rule/>