

PERANCANGAN SISTEM KONTROL *ELECTRIC HEATER* PADA MESIN OVEN *ANNEALING COLLAPSIBLE TUBE*

*Muhamad Zikri¹, Susilo Adi Widyanto², Mochammad Ariyanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: muhammadzikri56@gmail.com

Abstrak

Proses annealing pada aluminium AA1050 merupakan tahapan penting untuk mengembalikan sifat mekanik material setelah mengalami pembentukan dingin, khususnya pada produk *collapsible tube* yang digunakan dalam industri farmasi, kosmetik, dan makanan. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem kontrol *electric heater* pada oven *annealing collapsible tube* menggunakan Temperature Controller Omron E5CC. Sistem kontrol diterapkan dengan skema On-Off Control yang terintegrasi dengan *bucket chain conveyor* untuk mengatur waktu penahanan pemanasan. Oven dengan kapasitas daya 15.000 W dirancang mampu mencapai suhu operasi 350–450 °C dengan panjang lintasan pemanasan 6,42 m dan waktu pemanasan 258 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol mampu menjaga kestabilan temperatur dalam rentang annealing serta menghasilkan deformasi tabung sebesar 4–5 mm pada drop test, sesuai dengan standar kualitas industri (4–6 mm). Dengan demikian, sistem kontrol *electric heater* yang dirancang terbukti efektif dalam mendukung proses *annealing* dan meningkatkan kualitas *collapsible tube* berbahan aluminium AA1050.

Kata Kunci: annealing; aluminium aa1050; collapsible tube; electric heater; sistem kontrol suhu

Abstract

The annealing process of AA1050 aluminum is essential to restore the mechanical properties of the material after cold working, particularly in the production of collapsible tubes widely used in pharmaceutical, cosmetic, and food industries. This study aims to design and develop an electric heater control system for an annealing oven of collapsible tubes using the Omron E5CC Temperature Controller. The control system was implemented with an On-Off Control scheme integrated with a bucket chain conveyor to regulate heating time. The oven, with a heating capacity of 15,000 W, was designed to achieve an operating temperature of 350–450 °C with a heating path length of 6.42 m and a heating time of 258 seconds. Experimental results showed that the control system successfully maintained stable temperatures within the annealing range and produced tube deformation of 4–5 mm in the drop test, meeting the industrial quality standard (4–6 mm). Therefore, the proposed electric heater control system is proven effective in supporting the annealing process and improving the quality of collapsible tubes made from AA1050 aluminum.

Keywords: annealing; aa1050 aluminum; collapsible tube; electric heater; temperature control system

1. Pendahuluan

Proses *annealing* merupakan salah satu teknik perlakuan panas penting dalam industri manufaktur logam untuk meningkatkan sifat mekanis material, seperti keuletan, formabilitas, dan homogenitas struktur mikro, sekaligus mengurangi tegangan sisa akibat proses pembentukan dingin [1]. Salah satu produk yang memerlukan perlakuan panas ini adalah *collapsible tube*, kemasan fleksibel yang banyak digunakan dalam industri farmasi, kosmetik, dan makanan karena higienis, ringan, serta dapat didaur ulang [2].

Material yang umum digunakan untuk *collapsible tube* adalah aluminium AA1050. Paduan ini memiliki kandungan aluminium murni lebih dari 99,5% dengan sifat unggul berupa konduktivitas termal tinggi, ketahanan korosi, dan kemampuan deformasi yang baik [3]. Namun, akibat cold working, material ini menjadi lebih keras dan rapuh. Oleh karena itu, proses annealing pada suhu 350–500 °C dengan waktu penahanan 20–60 menit diperlukan untuk mengembalikan sifat lunak sekaligus menjaga kekuatan material [4].

Keberhasilan proses annealing sangat bergantung pada kestabilan suhu oven. Fluktuasi temperatur dapat menyebabkan kegagalan rekristalisasi, cacat produk, dan penurunan kualitas akhir [5]. Untuk itu diperlukan sistem kontrol suhu yang andal. Sistem kontrol modern berbasis closed loop memungkinkan adanya umpan balik (feedback) yang mengoreksi error secara dinamis [6,7].

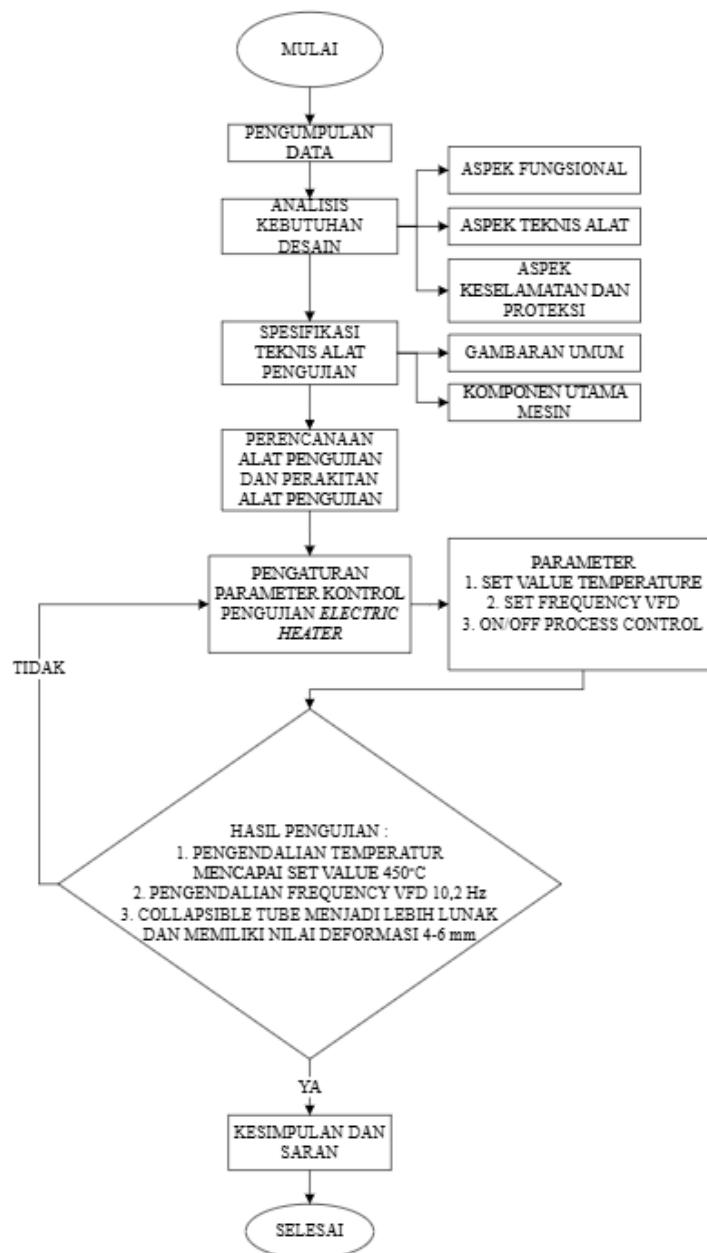
Metode kendali yang banyak digunakan adalah PID (Proportional–Integral–Derivative) control, karena mampu menekan overshoot, mengurangi error steady-state, serta meningkatkan respon terhadap gangguan eksternal [8]. Dalam

penerapannya, sistem kontrol bekerja dengan dukungan sensor temperatur seperti RTD yang memiliki akurasi tinggi serta elemen pemanas tubular bersirip yang efisien dalam mentransfer panas pada ruang terbatas [9,10].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol electric heater berbasis Temperature Controller Omron E5CC pada oven annealing collapsible tube, menginstalasi serta menguji kinerja sistem, dan mengevaluasi hasil annealing melalui uji deformasi sehingga diharapkan oven annealing mampu menjaga kestabilan suhu dan menghasilkan produk yang memenuhi standar kualitas industri.

2. Bahan dan Metode Penelitian

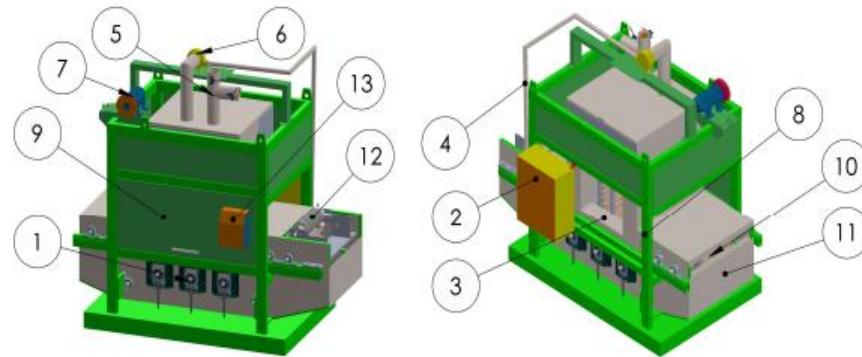
Penelitian ini memerlukan beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Tahapan tersebut secara berurutan sesuai diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Komponen Oven Annealing Collapsible Tube

Penelitian ini memerlukan beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Oven Annealing Collapsible Tube terdiri dari 13 komponen seperti yang terlihat pada gambar berikut.



Keterangan Komponen

- 01 Shaft Assembly
- 02 Electrical Panel
- 03 Annealing Chamber
- 04 Gas Circulation
- 05 Gas Bypass
- 06 Blower
- 07 Motor

- 08 Main Frame Assembly
- 09 Panel Cover
- 10 Conveyor
- 11 Heat Insulation
- 12 Vaccum Feeder
- 13 Control Box



Gambar 2. Tampak Belakang Perakitan Komponen Alat Pengujian



Gambar 3. Tampak Depan Perakitan Komponen Alat Pengujian

2.2 Analisis Kebutuhan Desain

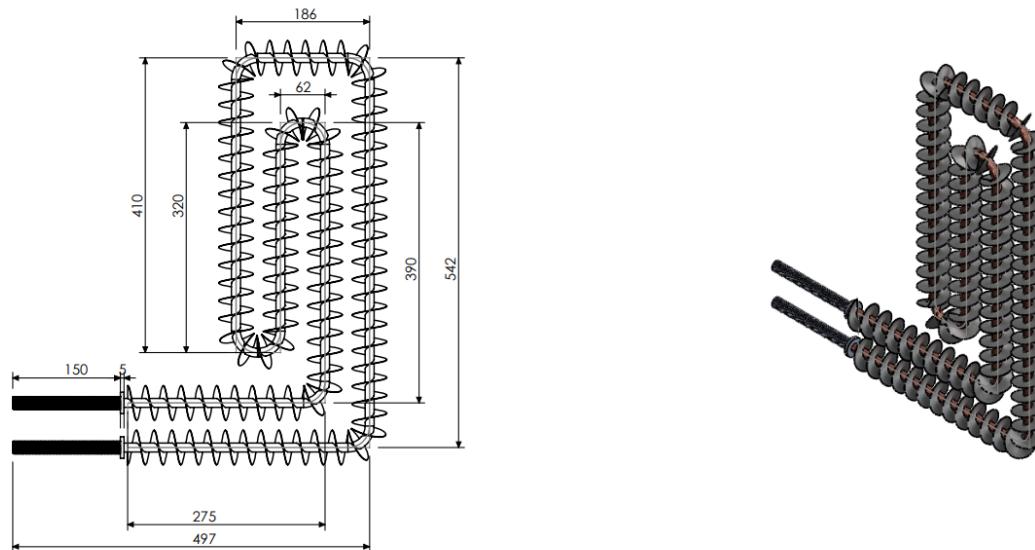
Analisis kebutuhan desain mempertimbangkan beberapa aspek, yaitu aspek fungsional, aspek teknis, dan aspek keselamatan. Berdasarkan hasil analisis kebutuhan desain aspek fungsional pada tabel dapat disimpulkan bahwa desain sistem kontrol harus memperhatikan pemosisian pemanas elektrik yang akan digunakan agar mencapai target untuk memanaskan collapsible tube itu sendiri, dan kontrol suhu yang digunakan harus sesuai kebutuhan agar pada saat monitoring suhu, data yang dihasilkan benar. Berdasarkan dari hasil analisis kebutuhan aspek teknis pada tabel dapat disimpulkan bahwa penggunaan pemanas elektrik yang digunakan harus sesuai dari kebutuhan oven, dan sistem conveyor chain yang di rancang harus sesuai dengan kebutuhan holding time dari collapsible tube itu sendiri agar berhasil untuk melakukan proses annealing. Berdasarkan dari hasil analisis kebutuhan aspek keselamatan dan proteksi pada tabel dapat disimpulkan bahwa ventilasi serta blower diperlukan untuk pembuangan panas berlebih sebagai pengaturan sirkulasi udara dan Tombol emergency diperlukan apabila terjadi kegagalan sistem pada alat.

2.3 Spesifikasi Teknis Alat Pengujian

Mesin oven annealing collapsible tube merupakan suatu mesin yang dirancang untuk memanaskan tabung alumunium pada suhu yang telah ditetapkan. Proses tersebut memiliki tujuan untuk merubah sifat dari material tersebut agar nantinya terjadinya peningkatan kualitas dari tabung tersebut. Mesin yang dirancang melakukan proses annealing menggunakan pemanas elektrik yang mampu untuk mencapai temperatur tertentu sesuai dari karakteristik material collapsible tube itu sendiri.

2.3.1 Sistem Pemanas

Sistem pemanasan yang digunakan harus mencapai temperatur annealing dari collapsible tube yaitu $350^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$ sesuai dari karakteristik materialnya. Sehingga dibutuhkan pemanas elektrik yang mampu mencapai target pemanasan.



Gambar 4. Electric Heater

Untuk mencari besar daya pemanas elektrik yang dibutuhkan, dapat menggunakan rumus perhitungan daya pemanas seperti berikut.

$$P = Q/t$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

Q = Energi panas yang dibutuhkan (Joule)

T = Waktu pemanasan (detik)

2.3.2 Kontrol Suhu

Pada oven annealing collapsible tube diperlukannya sistem kontrol suhu untuk mendapatkan suhu pemanasan sesuai target dan monitoring sistem pemasangan. Oleh karena itu digunakannya perangkat pengaturan berupa Temperature Control seperti pada di Gambar 5.



Gambar 5. PID Temperature Control

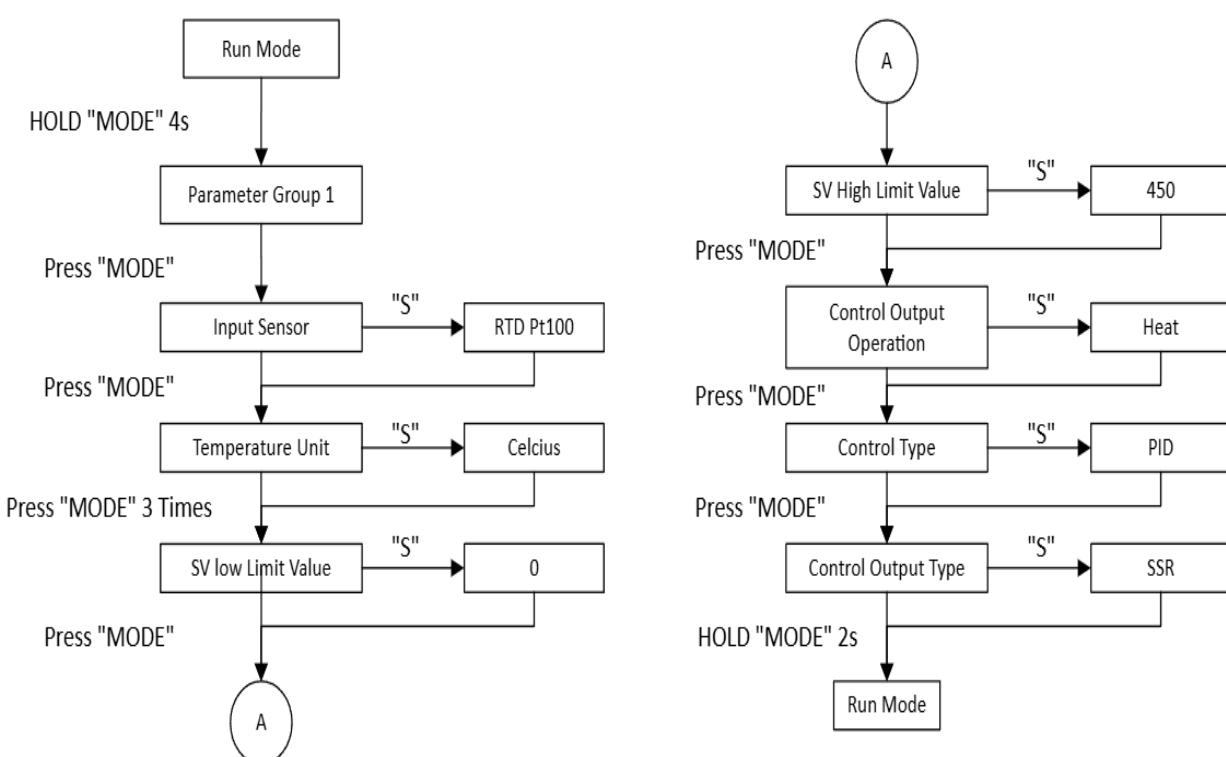
Temperature Control ini bekerja input dari sensor yang diberikan, setelah itu melaksanakan perintah terhadap program yang sudah di set. Hasil tersebut menjadi output dari Temperature Control yang biasanya berupa perubahan pada aktuator.

2.3.3 Sistem Konveyor

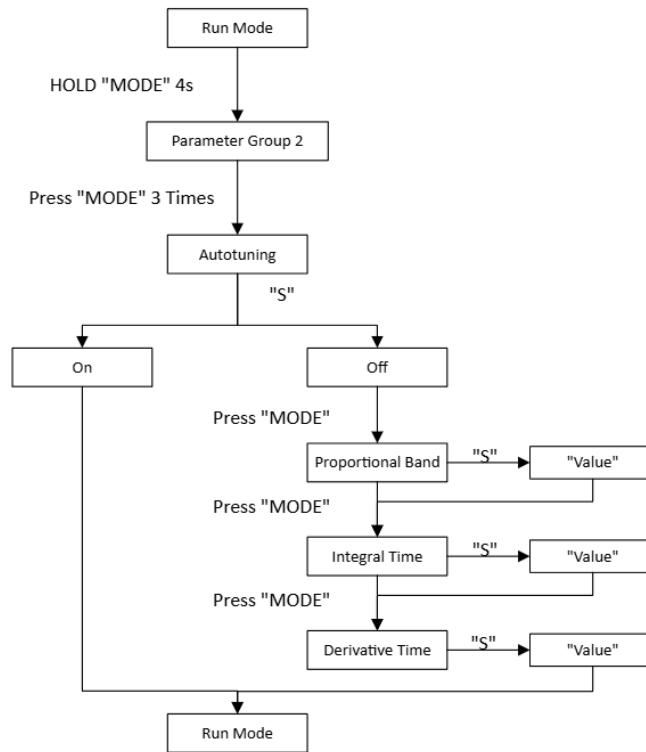
Sistem konveyor dibutuhkan untuk melakukan proses annealing dikarenakan dengan adanya sistem distribusi yang terus menerus membuat collapsible tube akan melewati fase holding time sesuai dari kebutuhan materialnya. Dengan itu konfigurasi gerakan dari konveyor akan menyesuaikan sesuai terhadap waktu yang dibutuhkan, dan juga pengaturan pada kecepatan motor penggerak yang sesuai.

2.4 Pengaturan Kontrol Temperatur Electric Heater

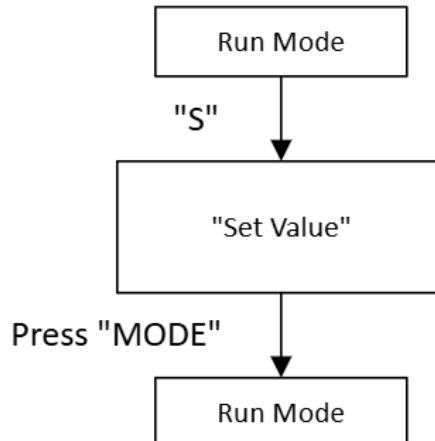
Pengaturan awal ini bertujuan agar pengendali temperatur dapat membaca komponen serta tujuan perlakuan yang ingin dilakukan. Pada proses ini dilakukan setting Parameter 1, Parameter 2 serta set value pemanasan. Pengaturan pengendali temperatur dibagi menjadi 3 tahapan yang dijelaskan pada 3 diagram alir.



Gambar 6. Diagram Alir Parameter 1



Gambar 7. Diagram Alir Parameter 2



Gambar 8. Diagram Alir Pengaturan Set Value

2.5 Pengambilan Data Pengujian Electric Heater

Pengambilan data pada pengujian ini berfokus pada variasi dari variable frequency drive, set value, dengan memperhatikan temperatur dari oven annealing collapsible tube.

Pengambilan data dalam pengujian ini mempunyai beberapa tahapan sebagai berikut :

- Mencatat data suhu awal *collapsible tube*, nilai suhu pada *Temperatur Control Omron E5CC*
- Selanjutnya, melakukan setting pada temperatur control omron E5CC dan set value. Untuk setiap pengujian memiliki variable yang berbeda saat pengujian. Variabel yang diuji yaitu mode pengendalian temperatur, dan frequency dari VFD.
- Setiap Pengujian yang dilakukan berdasarkan dari hasil analisis dari masing masing pengujian
- Pengujian ini dilakukan dengan mencatat data suhu *collapsible tube* saat awal pengujian, setelah mencapai set value pada temperatur control, dan memantau suhu yang ada pada temperatur control.
- Pada saat pengujian data yang diambil berdasarkan nilai di temperatur control dan pengukuran menggunakan thermogun untuk mendapatkan data nilai suhu dari *collapsible tube*
- Untuk membantu pencatatan data, adanya alat bantu yang diperlukan yaitu timer dan camera. Timer digunakan untuk mencatat waktu dari awal pengujian sampai pengujian selesai, Camera digunakan untuk mengetahui

-
- fluktuasi yang terjadi pada saat pengujian berlangsung.
- g. Setelah semua parameter telah dilaksanakan dengan benar, Pengujian dilakukan selama 3-5 menit untuk mendapatkan data yang benar
 - h. Setelah pengujian selesai, dilakukan pencatatan data pada *Worksheet Data Pengujian*.

2.6 Pengujian Drop Test

Pengambilan data pada pengujian ini berfokus pada visualisasi perubahan dari collapsible tube dengan memperhatikan seberapa besar deformasi yang terjadi pada collapsible tube. Pengujian pada penelitian ini difokuskan pada collapsible tube yang telah melalui proses annealing. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan besarnya deformasi yang terjadi pada collapsible tube.



Gambar 9. Setup Pengambilan Data

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Desain

Terdapat tiga aspek utama yang menjadi fokus pada tahapan analisis. Pertama, Aspek fungsional memiliki fokus yaitu dari kondisi mesin saat melakukan proses produksi. Pada tahapan ini, menghasilkan solusi solusi dari pertimbangan-pertimbangan yang dapat disimpulkan seperti pemasangan dari electric heater itu sendiri dan kontrol suhu yang digunakan sesuai atau tidak. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat dari Tabel 3.1

Kedua, Aspek Teknis alat yaitu memiliki fokus terhadap pemilihan electric heater serta sistem distribusi yang digunakan pada oven. Dari hasil analisis, didapat perhitungan jumlah kebutuhan electric heater yang diperlukan dan perhitungan sistem distribusi berupa bucket chain conveyor yang diperlukan agar dapat memenuhi suhu yang diperlukan untuk annealing dan juga target holding time sesuai karakteristik materialnya dan konveyor ini sebagai penunjang kecepatan dan kapasitas produksi. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat dari Tabel 3.2

Ketiga, Aspek Keselamatan dan proteksi yaitu berfokus pada kondisi atau kemungkinan-kemungkinan yang dapat menghambat proses produksi dan membahayakan operator alat atau lingkungan sekitar. Oleh karena itu terdapatnya tombol emergency stop apabila kejadian yang tidak diinginkan terjadi dan terdapat pengaturan sirkulasi udara apabila temperatur alat melebihi batas yang diperlukan. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat dari Tabel 3.3.

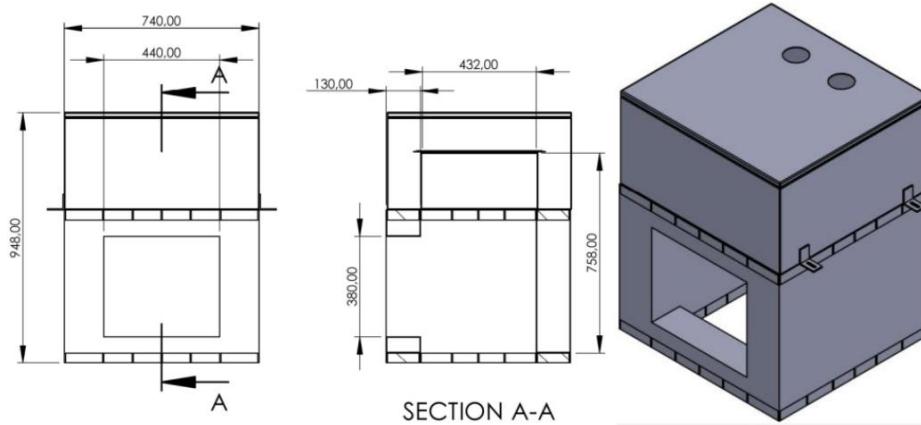
Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Oven Annealing Collapsible Tube

No	Parameter	Keterangan
1	Sumber Pemanas	Electric Heater
2	Kapasitas Pemanas	15.000 Watt
3	Temperatur Operasi	350 - 450
4	Kontrol Temperature	Temperature Control Omron E5CC
5	Kontrol Distribusi	HNC Frequency Inverter HV10 1 HP

Komponen – komponen penting yang menjadi pertimbangan pada saat terjadinya proses annealing dapat dilihat pada desain komponen berikut.

a. *Heating Chamber*

Desain dari *heating chamber* yang dipakai berbentuk seperti balok memanjang keatas yang dapat dilihat pada Gambar 10.

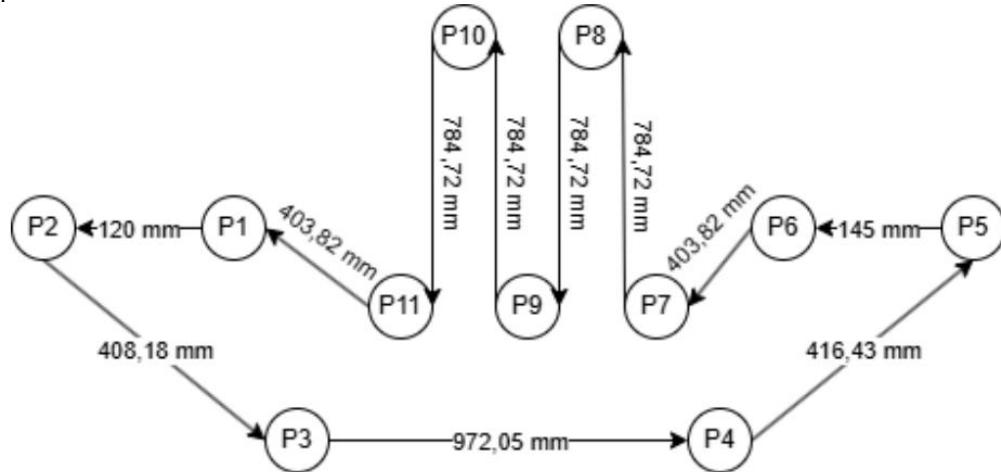


Gambar 10. *Heating Chamber* (Solidworks, 2023)

Dimensi total dari *casing* sebesar 740 x 740 x 948 mm dengan dimensi ruang pemanasan sebesar 736 x 696 x 758 mm.

b. Lintasan *Chain Conveyor*

Lintasan *Chain conveyor* yang terdapat pada mesin oven *annealing collapsible tube* ini memiliki formasi seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Formasi *Chain Conveyor*

Bucket chain conveyor disusun pada lintasan yang diketahui seperti diatas dimana P7 – P8 – P9 – P10 – P11 merupakan lintasan pemanasan pada oven *annealing collapsible tube*.

3.2 Hasil Pengujian *Drop Test*

Pada penelitian ini terlihat bahwa pengaruh proses annealing yang dilakukan pada collapsible tube dapat membuat tabung menjadi lebih lunak, terlihat pada visualisasi serta angka deformasi yang ada pada tabung dimana tabung tetap kuat, tidak adanya sobekan serta angka deformasi yang didapatkan sesuai standar yang ada dimana dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Hasil Pengujian *Drop Test* Pada Collapsible Tube Tampak Depan



Gambar 13. Hasil Pengujian *Drop Test* Pada Collapsible Tube Tampak Samping

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian terkait rancang bangun sistem kontrol electric heater pada mesin oven annealing collapsible tube sebagai berikut :

1. Dalam proses perancangan yang telah dilakukan memiliki tahapan-tahapan seperti, pengumpulan data oven annealing collapsible tube, selanjutnya melakukan analisis kebutuhan design dari data yang telah dimiliki, selanjutnya melakukan perancangan mengenai spesifikasi teknis oven annealing collapsible tube, membuat gambaran umum mengenai alat pengujian, penentuan komponen yang akan digunakan, dan melakukan perhitungan terhadap kebutuhan dari alat pengujian ini, selanjutnya dilakukan perancangan diagram kelistrikan, pengaturan pengendali temperatur, dan melakukan pengujian collapsible tube pada oven annealing.
2. Oven annealing collapsible tube yang dikontrol dengan Temperature Control Omron E5CC dapat melakukan pemanasan terhadap collapsible tube dengan menggunakan skema On-Off control.
3. Dari perhitungan yang telah dilakukan diketahui bahwa energi yang dihasilkan oleh oven annealing yang telah dibuat sangat cukup untuk melakukan proses annealing pada collapsible tube.
4. Pemanasan yang dilakukan oven ini berhasil untuk memenuhi proses annealing dimana telah dilakukannya pengujian lanjutan berupa drop test pada collapsible tube yang menghasilkan angka 4 mm – 5 mm angka ini menunjukkan bahwa collapsible tube lolos pengujian dikarenakan permintaan konsumen untuk pengujian ini angkanya adalah 4 mm – 6 mm.

5. Daftar Pustaka

- [1] Nugroho. Pengaruh Proses Annealing Terhadap Perubahan Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Pipa SA 179 Yang Telah Mengalami Pembengkokan. 2017.
- [2] Trihutomo P. Pengaruh Proses Annealing Pada Hasil Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah. Vol. 22, Tahun. 2014.
- [3] Kalpakjian Serope, Schmid Sr. Manufacturing Engineering And Technology. Pearson; 2020. 1286 P.

-
- [4] Skibinska K, Smola G, Bialo L, Kutyla D, Kolczyk-Siedlecka K, Kwiecinska A, Wojnicki M, Zabinski P. Influence Of Annealing Time Of Aluminum Aa1050 On The Quality Of Cu And Co Nanocones. *J Mater Eng Perform.* 2020 Dec 16;29(12):8025–35.
 - [5] Nur Adi S, Adi Widyanto S. Analisis Penyebab Cacat Produk Aluminium Collapsible Tube Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis Dan Fault Tree Analysis. Vol. 11, *Jurnal Teknik Mesin S-1*. 2023.
 - [6] Farid G, Kuo Bc. Automatic Control Systems. Wiley; 2010.
 - [7] Gunawan Mi. Sistem Kendali Otomatis Pada Mesin-Mesin Industri Untuk Peningkatan Efektivitas Dan Efisiensi Kerja. Tedc. 2015;9:110–6.
 - [8] Zhu B, Zhao W, Zhang W, Wang H, Li C. A Segmented Adaptive Pid Temperature Control Method Suitable For Different Temperature Ranges. *Electronics.* 2024;14(11):2306.
 - [9] Huang X, Zhang Z, Zhang Y, Chen H, Gong Z, Zhu J, Et Al. Platinum Rtd Sensor Based Multi-Channel High Precision Temperature Acquisition System. *Cogent Engineering.* 2018;5(1):1458847.
 - [10] Pusnik M, Frankovic B, Tušek J, Milkovic A. Thermodynamic And Hydraulic Design Characteristics Of The Fin Tube Heat Exchanger. *Materials Today: Proceedings.* 2022;62:3899-904.