

**RANCANG BANGUN *COOL BED* SEBAGAI PENDINGIN  
FILAMEN GELATIN DALAM PENCETAKAN 3D  
BIOKOMPOSIT HIDROKSIAPATIT DENGAN SISTEM  
KONTROL PID**

**SKRIPSI**

Oleh:

**NISA BADATUL FIRDAUS**

**205090800111023**



**PROGRAM STUDI SARJANA INSTRUMENTASI  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2023**

*(halaman ini sengaja dikonsongkan)*

**RANCANG BANGUN *COOL BED* SEBAGAI PENDINGIN  
FILAMEN GELATIN DALAM PENCETAKAN 3D  
BIOKOMPOSIT HIDROKSIAPATIT DENGAN SISTEM  
KONTROL PID**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam bidang Instrumentasi

Oleh:

**NISA BADATUL FIRDAUS**

**205090800111023**



**PROGRAM STUDI SARJANA INSTRUMENTASI  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2023**

*(halaman ini sengaja dikonsongkan)*

**LEMBAR PENGESAHAN  
PROPOSAL SKRIPSI**

**RANCANG BANGUN *COOL BED* SEBAGAI PENDINGIN  
FILAMEN GELATIN DALAM PENCETAKAN 3D  
BIOKOMPOSIT HIDROKSIAPATIT DENGAN SISTEM  
KONTROL PID**

**Oleh:**

**NISA BADATUL FIRDAUS  
205090800111023**

**PROGRAM STUDI: S1 INSTRUMENTASI  
MALANG, 09 AGUSTUS 2023**

**Pembimbing II**

**Pembimbing I**

(Drs. Hari Arief Dharmawan,  
M. Eng., Ph.D.)

NIP 196601311990021001

(Ir. D.J. Djoko H. Santjojo.,  
M.Phil., Ph.D.)

NIP 196601311990021001

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi S1 Instrumentasi  
Departemen Fisika FMIPA UB**

(Prof. Dr. Eng. Agus Naba, M.T.)

NIP 196407021989031001

*(halaman ini sengaja dikonsongkan)*

## **LEMBAR PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nisa Badatul Firdaus

NIM : 205090800111023

Departemen : Fisika

Penulis Skripsi Berjudul :

### **RANCANG BANGUN *COOL BED* SEBAGAI PENDINGIN FILAMEN GELATIN DALAM PENCETAKAN 3D BIOKOMPOSIT HIDROKSIAPATIT DENGAN SISTEM KONTROL PID**

Dengan ini menyatakan:

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka, semata-mata digunakan sebagai acuan atau referensi.
2. Apabila dikemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

**Malang, 20 November 2023**  
**Yang menyatakan,**

**Nisa Badatul Firdaus**  
**205090800111023**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **RANCANG BANGUN *COOL BED* SEBAGAI PENDINGIN FILAMEN GELATIN DALAM PENCETAKAN 3D BIOKOMPOSIT HIDROKSIAPATIT DENGAN SISTEM KONTROL PID**

## **ABSTRAK**

Hidroksiapatit (n-HAp) adalah biomaterial komposit yang dapat digunakan dalam implantasi jaringan karena sifat kimia dan strukturnya mempunyai kemiripan dengan komponen anorganis pada tulang yang mampu menggantikan kandungan kalsium (Ca) dan fosfor (P). Dengan menggunakan teknologi 3D *printing* dengan filamen hidroksiapatit (n-HAp) maka dapat dihasilkan desain 3D yang dapat dimanfaatkan dalam bidang kesehatan. Penelitian sebelumnya pembuatan rancang bangun ekstruder piston untuk produksi filamen gelatin yang dipersiapkan untuk pencetakan 3D biokomposit hidroksiapatit telah dipelajari, namun terdapat kekurangan yaitu suhu pada komponen *cool bed* yang digunakan sebagai pendingin filamen masih belum stabil. Dengan melakukan penelitian telah dirancang sistem kontrol pada sistem *cool bed* sebagai pendingin filamen dengan menggunakan sistem kontrol PID dengan menggunakan termoelektrik sebagai elemen pendingin dan NTC MF55 sebagai sensor yang akan membaca data suhu kemudian data diteruskan ke mikrokontroler Arduino Uno. Hasil pengujian modul termoelektrik secara langsung diperoleh suhu minimum yang dapat dicapai pada sisi dingin adalah  $-7.87^{\circ}\text{C}$ . Parameter PID pada sistem kontrol suhu *cool bed* yaitu  $K_p = 1200$ ,  $K_i = 0.2$ , dan  $K_d = 2$  dengan *set point* sebesar  $0^{\circ}\text{C}$ .

**Kata kunci:** Hidroksiapatit, 3D *Printer*, *Cool Bed*, Kontrol PID

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **THE DESIGN OF A COOL BED FOR COOLANT OF GELATIN FILAMENTS AVAILABLE FOR HYDROXYAPATITE BIOCOMPOSITE 3D PRINTING WITH PID CONTROL SYSTEM**

## **ABSTRACT**

*Hydroxyapatite (n-HAp) is a composite biomaterial that can be used in tissue implantation due to its chemical properties and structure, which resemble the inorganic components of bones capable of replacing calcium (Ca) and phosphorus (P) content. By utilizing 3D printing technology with hydroxyapatite filament (n-HAp), it is possible to create 3D designs that can be utilized in the field of health. Previous research on the design and construction of a piston extruder for the production of gelatin filaments prepared for 3D printing of hydroxyapatite biocomposites has been studied, but there is a drawback, namely, the temperature on the cool bed component used as filament cooler is still unstable. Through research, a control system has been designed for the cool bed temperature control system using a PID control system with thermoelectric as the cooling element and NTC MF55 as the sensor that will read temperature data, which is then transmitted to the Arduino Uno microcontroller. The direct testing results of the thermoelectric module obtained a minimum temperature that can be achieved on the cold side is  $-7.87^{\circ}\text{C}$ . The PID parameters in the cool bed temperature control system are  $K_p = 1200$ ,  $K_i = 0.2$ , dan  $K_d = 2$  with a set point of  $0^{\circ}\text{C}$ .*

**Keywords:** *Hydroxyapatite, 3D Printer, Cool Bed, PID Control*

*(halaman ini sengaja dikonsongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat Rahmat-Nya, sehingga penulis dapat mengerjakan proposal ini dengan baik. Penulis mendapatkan banyak bantuan dalam penulisan proposal ini, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, hidayah, serta karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik
2. Bapak Toni dan Ibu Sarpiah selaku orang tua penulis, serta kakak dan adik yang telah memberikan dukungan dan juga doa yang menjadi penguat penulis dalam menyelesaikan jenjang perkuliahan dengan baik
3. Bapak Ir. D.J. Djoko H. Santjojo., MPhil., Ph.D. selaku pembimbing pertama pelaksanaan tugas akhir atas bimbingan dan arahan terkait materi serta menyediakan alat penelitian
4. Bapak Drs. Hari Arief Dharmawan, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing kedua pelaksanaan tugas akhir yang telah memberikan bimbingan terkait materi penelitian
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Agus Naba, MT. selaku kepala prodi Instrumentasi yang telah memberikan bantuan secara materi maupun administrasi
6. Dr. Eng. Masruroh. S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Brawijaya
7. Segenap karyawan Departemen Fisika dan Fakultas MIPA Universitas Brawijaya atas segala bantuannya
8. Mas Dika selaku pembimbing Lab Plasma yang telah membantu selama teknis pengerjaan penelitian
9. Teman-teman Lab Plasma yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penelitian
10. Angel Theresa, Aisyah Putri, Farida, Fadhila, dan Muthia Azizah, selaku sahabat yang telah menemani, memberikan dukungan, dan bantuan selama perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir
11. Sahabat dan teman-teman Instrumentasi 2020 Universitas Brawijaya yang tidak bisa disebutkan satu-persatu atas segala semangat dan dukungan yang diberikan

12. Sahabat penulis dari SMP dan SMA yang telah memberikan motivasi dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir

Penulis menyadari bahwa terdapat kekurangan dalam penulisan proposal ini. Oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk ke depannya.

Malang, 30 Agustus 2023

Nisa Badatul Firdaus

*(halaman ini sengaja dikonsongkan)*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN.....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	3
1.3    Batasan Masalah .....	3
1.4    Tujuan Penelitian .....	3
1.5    Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 3D <i>Printer</i> .....	4
2.3 Mikrokontroler Arduino Uno .....	5
2.4.1 Input dan Output .....	6
2.4.2 Memori.....	7
2.4.3 Daya .....	7
2.4.4 Komunikasi .....	8
2.4.5 Pemrograman .....	8



2.4 Thermoelectric .....	8
2.5 Sensor Temperatur .....	11
2.6 Driver IBT2 – BTS7960 .....	12
2.6.1 Input IBT2 – BTS7960 .....	12
2.6.2 Pinout IBT2 – BTS7960 .....	12
2.7 Kontroler PID (Proportional, Intergral, Derivative).....	13
2.8 PWM (Pulse Width Modulation) .....	17
BAB III METODE PENELITIAN .....	22
3.1 Waktu dan Tempat.....	22
3.2 Peralatan dan Bahan.....	22
3.2.1 Perangkat Keras .....	22
3.2.2 Perangkat Lunak .....	22
3.3 Prosedur Penelitian .....	23
3.3.1 Studi Literatur .....	24
3.3.2 Desain Sistem .....	24
3.3.3 Perancangan Elektronik dan Desain Perangkat Pengambil Panas dan Pengontrol.....	27
3.3.4 Perancangan Elektronik dan Desain Subsistem <i>Heatsink</i> .....	30
3.3.5 Uji Karakteristik Komponen .....	31
3.3.4 Pengembangan Prosedur dan <i>Software</i> Pendinginan .....	33
3.3.6 Uji Fungsional Sistem Pendingin <i>Cool Bed</i> .....	34
3.3.7 Pengambilan dan Analisa Data .....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	36
4.1 Hasil Perancangan Desain Alat .....	36

4.2 Hasil Pengujian Karakteristik Komponen .....	39
4.2.1 Pengujian Karakteristik Sirkulasi <i>Heatsink</i> .....	39
4.2.2 Pengujian Karakteristik Thermoelektik .....	41
4.2.3 Pengkalibrasian Sensor Suhu NTC MF55 .....	45
4.3 Hasil Perancangan <i>Software</i> .....	47
4.3.1 Program Pengukuran Suhu Air pada <i>Heat Sink</i> .....	47
4.3.2 Program Sistem Kontrol PID pada <i>Cool Bed</i> .....	48
4.4 Pengujian dan Analisa Sistem .....	52
4.4.1 Pengujian Nilai Konstanta Proporsional ( <b>Kp</b> ).....	52
4.4.2 Pengujian Nilai Konstanta Proporsional ( <b>Kp</b> ) dan Integral ( <b>Ki</b> ) .....	55
4.4.3 Pengujian Nilai Konstanta Proporsional ( <b>Kp</b> ) Integral ( <b>Ki</b> ) dan Derivative ( <b>Kd</b> ).....	61
BAB V PENUTUP .....	73
5.1 Kesimpulan .....	73
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA .....	74
LAMPIRAN .....	77

*(halaman ini sengaja dikonsongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Ilustrasi 3D Printer .....	5
<b>Gambar 2. 2</b> Arduino Uno board.....	5
<b>Gambar 2. 3</b> Pin Input/Output Arduino Uno .....	7
<b>Gambar 2. 4</b> Skematik dari Modul Termoelektrik Peltier (a) mode pendingin (b) mode pemanas.....	10
<b>Gambar 2. 5</b> Ukuran Sensor NTC MF55 .....	11
<b>Gambar 2. 6</b> Driver IBT2 – BTS7960.....	12
<b>Gambar 2. 7</b> Diagram Blok Driver IBT2 – BTS7960 .....	13
<b>Gambar 2. 8</b> Blok Digram Kontrol PID .....	14
<b>Gambar 2. 9</b> Respon Sistem PID.....	17
<b>Gambar 2. 10</b> Sinyal PWM dengan beberapa duty cycle yang berbeda .....	18
<b>Gambar 2. 11</b> Contoh sinyal Mode fast PWM .....	19
<b>Gambar 2. 12</b> Contoh sinyal Mode Phase-Correct PWM .....	20
<b>Gambar 3. 1</b> Flowchart Prosedur Penelitian.....	23
<b>Gambar 3. 2</b> Diagram Blok Penelitian .....	25
<b>Gambar 3. 3</b> Skematik Rangkaian Cool Bed.....	28
<b>Gambar 3. 4</b> (a) Tampak Kiri (b), Tampak Kanan Base Cooler .....	29
<b>Gambar 3. 5</b> (a) Tampak Atas, (b) Tampak Samping Top Cooler ...	29
<b>Gambar 3. 6</b> Skematik Rangkaian <i>Heat sink</i> .....	30
<b>Gambar 3. 7</b> Subistem Heat Sink .....	31
<b>Gambar 3. 8</b> Kalibrasi NTC MF55 .....	33
<b>Gambar 3. 9</b> Flowchart Pemrograman PID .....	34

<b>Gambar 3. 10</b>	Sistem Ketika Diuji.....	35
<b>Gambar 4. 1</b>	Hasil Perancangan Cool Bed.....	37
<b>Gambar 4. 2</b>	Hasil Perancangan Sistem Heat Sink .....	38
<b>Gambar 4. 3</b>	Grafik Suhu Air Heat Sink dengan TEC dimatikan ...	39
<b>Gambar 4. 4</b>	Grafik Suhu Air Heat Sink dengan TEC dinyalakan..	40
<b>Gambar 4. 5</b>	Pengujian Nilai Output PWM .....	43
<b>Gambar 4. 6</b>	Grafik Penurunan Temperature dengan Variasi Duty Cycle PWM .....	44
<b>Gambar 4. 7</b>	Temperature Terendah dengan Variasi Duty Cycle PWM .....	44
<b>Gambar 4. 8</b>	Grafik Kalibrasi Sensor NTC MF55 .....	46
<b>Gambar 4. 9</b>	Grafik Respon Sistem Terhadap Variasi Nilai $K_p$ .....	53
<b>Gambar 4. 10</b>	Perbandingan Rest Time Sistem dengan Variasi Nilai $K_p$ .....	55
<b>Gambar 4. 11</b>	Respon Sistem Terhadap Nilai $K_i$ 0.1 .....	56
<b>Gambar 4. 12</b>	Respon Sistem Terhadap Nilai $K_i$ 0.2 .....	56
<b>Gambar 4. 13</b>	Respon Sistem Terhadap Nilai $K_i$ 0.5 .....	57
<b>Gambar 4. 14</b>	Respon Sistem Terhadap Nilai $K_i$ 0.7 .....	57
<b>Gambar 4. 15</b>	Respon Sistem Terhadap Nilai $K_i$ 1 .....	58
<b>Gambar 4. 16</b>	Grafik Respon Sistem Terhadap Variasi Nilai $K_i$ .....	58
<b>Gambar 4. 17</b>	Perbandingan Osilasi Sistem pada Nilai $K_i$ yang Berbeda.....	60
<b>Gambar 4. 18</b>	Respon Sistem Terhadap Nilai $K_d$ 0.5 .....	61
<b>Gambar 4. 19</b>	Respon Sistem Terhadap Nilai $K_d$ 1 .....	62
<b>Gambar 4. 20</b>	Respon Sistem Terhadap Nilai $K_d$ 1.5 .....	62
<b>Gambar 4. 21</b>	Respon Sistem Terhadap Nilai $K_d$ 2.....	63

<b>Gambar 4. 22</b>	Respon Sistem Terhadap Nilai <i>Kd</i> 2.5 .....	63
<b>Gambar 4. 23</b>	Grafik Respon Sistem Terhadap Variasi Nilai <i>Kd</i> ....	64
<b>Gambar 4. 24</b>	Respon Sistem dengan Filament Gelatin 1 gram .....	69
<b>Gambar 4. 25</b>	Respon Sistem dengan Filament Gelatin 2 Gram.....	69
<b>Gambar 4. 26</b>	Respon Sistem dengan Filament Gelatin 3 gram .....	70

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4. 1</b>	Tabel Data Kecepatan Sirkulasi Air pada Heat Sink.....	41
<b>Tabel 4. 2</b>	Kalibrasi Sensor NTC MF55 dengan Sensor PT-100 .....	46
<b>Tabel 4. 3</b>	Program Pengukuran Suhu Air pada Heat Sink .....	47
<b>Tabel 4. 4</b>	Inisialisasi Library Program.....	49
<b>Tabel 4. 5</b>	Inisialisasi Variabel .....	49
<b>Tabel 4. 6</b>	Program Membaca Suhu Sensor NTC MF55 .....	50
<b>Tabel 4. 7</b>	Program Kontrol Suhu .....	51
<b>Tabel 4. 8</b>	Variasi Perbandingan Gelatin dengan Aquades.....	65
<b>Tabel 4. 9</b>	Hasil Respon Sistem Terhadap Variasi Percobaan.....	66
<b>Tabel 4. 10</b>	Respon Sistem Kontrol pada Variasi Percobaan .....	71

*(halaman ini sengaja dikonsongkan)*



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan teknologi mengalami pertumbuhan pesat yang terjadi pada era industri 4.0, salah satu contoh dari dampak kemajuan bidang teknologi akibat revolusi industri 4.0 yaitu 3D printer (Salsana et al., 2022). Teknologi 3D printer termasuk dalam metode *additive manufacturing*, yaitu metode untuk menghasilkan sebuah objek 3 dimensi dengan cara menumpuk material dengan membuat selapis demi lapis (*slice by slice*) (Andriyansyah et al., 2021). 3D printer sebagai bentuk perkembangan teknologi tidak hanya dapat dimanfaatkan dalam bidang industri saja, akan tetapi dapat dimanfaatkan di bidang kesehatan juga. Penggunaan 3D printer dalam bidang kesehatan telah menjadi hal yang umum. Teknologi ini memberikan kontribusi yang signifikan bagi sektor medis dengan mengubah gambar medis menjadi model cetak 3D yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi (Bücking et al., 2017).

3D *printer* bekerja dengan teknik membuat tumpukan irisan dua dimensi (2D), selanjutnya mesin cetak 3D membuat bagian-bagian satu lapis secara *real time* sesuai dengan desain 2D yang dibantu oleh informasi digital dari file desain dengan menggunakan komputer. Selanjutnya, menumpuk dan menggabungkan lapisan-lapisan yang berurutan untuk membuat objek 3D. 3D *printing* menjadi salah satu teknik yang digunakan dalam kedokteran, dimana 3D *printing* mempunyai karakteristik fleksibilitas tinggi dalam desain, dapat dibuat secara *by part*, dan dapat dibuat spesifik dengan kebutuhan (Bandyopadhyay et al., 2015).

Hidroksiapatit menjadi salah satu bahan sintetik yang biasa digunakan dalam aplikasi kedokteran dikarenakan mempunyai keidentikan dengan struktur dari tulang (Leni & Hariyani, 2021). Selain itu, biomaterial komposit memiliki keunggulan dalam kemampuan untuk secara fleksibel mengatur sifat serta karakteristiknya. Salah satu jenis biomaterial komposit yang berguna dalam aplikasi implantasi jaringan adalah hidroksiapatit (n-HAp).

Sifat kimia dan struktural dari biomaterial hidroksiapatit dianggap mampu untuk berperan sebagai pengganti mineral dalam tulang, karena kemiripannya dengan komponen anorganik tulang, seperti kalsium (Ca) dan fosfor (P) (Plowright et al., 2017).

Beberapa prosedur yang digunakan untuk penyembuhan tulang pada bidang kesehatana ada tiga, yaitu *autograft*, *allograft*, dan *xenograft*. Akan tetapi, semua alternatif ini memiliki potensi untuk memunculkan masalah dalam proses penyembuhan, termasuk resiko komplikasi seperti infeksi, inflamasi, penolakan, dan juga permasalahan kelangkaan donor. Selain itu, ada risiko tambahan dalam penggunaan *allograft*, yang mencakup risiko penularan penyakit (Venkatesan & Kim, 2010). Sehingga, teknologi 3D *printing* dikembangkan dalam bidang kedokteran, khususnya dalam bidang ortopedi. Penerapan pencetakan 3D di bidang kedokteran memberikan hasil yang luar biasa, dimana dapat meminimalisir trauma oleh pasien, oleh sebab itu 3D printer dilakukan pengkajian oleh para ilmuwan untuk mendapatkan hasil yang dapat digunakan untuk kemajuan bidang kedokteran (Zamborsky et al., 2019).

Dari penelitian (Syauqiyah & Santjojo, 2023) telah berhasil mengembangkan 3D *printing* dengan menggunakan filamen gelatin. Untuk pencetakan filamen menggunakan ekstruder dengan metode piston. Metode ini memungkinkan untuk memproduksi filamen yang digunakan dalam 3D *printer*. Dalam penelitian tersebut untuk menghasilkan hasil 3D *printing* lebih stabil menggunakan *cool bed* sebagai pendingin filamen. *Cool bed* tersebut menggunakan *thermo electric* (TEC) sebagai pendingin. Namun, suhu pada *cool bed* masih belum konstan, sehingga diperlukan sistem kontrol untuk mengontrol suhu agar stabil yang bertujuan agar filamen yang dihasilkan dari ekstruder bisa stabil dan menghasilkan bentuk 3D yang presisi dengan hasil desain digital yang diinginkan.

Berangkat dari hal tersebut, peneliti akan melakukan pembuatan rancang bangun *cool bed* dengan menerapkan sistem kontrol PID yang dapat digunakan sebagai pengontrol suhu *cool bed* pada 3D *printer*. Penelitian yang dilakukan yakni membuat sistem kontrol PID dengan menggunakan data pengukuran sensor NTC MF55 *thin film* sebagai *feedback* ke dalam proses sistem, dan dibandingkan dengan *set point*

yang telah ditentukan. Dengan menggunakan sistem kontrol dalam rancang bangun *cool bed* tersebut menghasilkan suhu pada *cool bed* yang stabil ketika diberi beban berupa filament, sehingga akan menghasilkan bentuk 3D yang stabil.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, penulis memiliki rumusan masalah diantaranya sebagai berikut:

1. Bagaimana desain dan konstruksi sistem pendingin yang digunakan untuk pendinginan *filament* gelatin dalam proses pencetakan 3D biokomposit hidroksiapatit.
2. Bagaimana sistem kontrol suhu pada *cool bed* dengan metode PID.

## **1.3 Batasan Masalah**

Penelitian yang akan dilakukan memiliki batasan masalah dalam pelaksanaan yaitu:

1. Bahan pendingin yang digunakan menggunakan air yang didinginkan dengan es.
2. Kontrol proses menggunakan *Arduino Uno* dalam pengontrolan proses pendinginan.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai pengembangan model sistem *cool bed* untuk mendinginkan *filament* pada pencetakan 3D biokomposit hidroksiapatit agar didapatkan hasil *filament* yang stabil dengan cara mengontrol suhu pada *cool bed* dengan menggunakan sistem kontrol PID.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

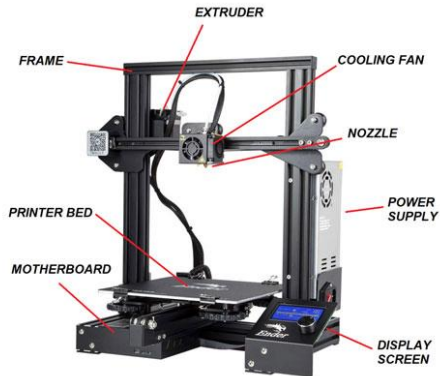
Penelitian ini bermanfaat untuk pengembangan *coolbed* sebagai pendingin filamen yang digunakan pada teknologi pencetakan 3D yang dapat dimanfaatkan dalam bidang medis.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 3D *Printer*

3D printer merupakan perkembangan dari bentuk tradisional dalam permesinan. 3D printer disebut juga sebagai manufaktur adiktif, yaitu menciptakan objek dengan meletakkan lapisan material secara berurutan hingga keseluruhan objek tercipta (Jasveer & Jianbin, 2018). Pembuatan objek cetak 3 Dimensi ini dibuat dengan menggunakan proses aditif atau *Additive Manufacturing* (AM). Dalam proses aditif, suatu objek akan dibuat dengan cara meletakkan lapisan material secara berurutan hingga objek yang diinginkan tersebut terbentuk. 3D printing memiliki keunggulan yang memungkinkan untuk menghasilkan bentuk yang kompleks dengan menggunakan lebih sedikit bahan daripada metode tradisional (Horvarth, 2014).

Proses pencetakan 3D *printer* meliputi beberapa tahap, dimulai dengan desain digital yang mempresentasikan bentuk gambar yang ingin dicetak, untuk mendesain digital bisa dilakukan dengan menggunakan program komputer ataupun *scanners* dan kamera, tahap ini disebut dengan *obtaining object* atau pengambilan objek. Desain digital tersebut harus di ubah ke dalam format yang disesuaikan dengan 3D printer yang digunakan, contohnya yaitu *stereolithography* (STL). 3D *printer* akan mencetak objek sesuai dengan desain digital per layer atau *by part* yang akan menghasilkan bentuk 3D (Stephanie Torta, 2019). Kemampuan 3D printer dalam menghasilkan bentuk 3D dengan cara membuat per layer atau *by part* dan mempunyai fleksibilitas desain yang tinggi dapat dimanfaatkan dalam bidang medis untuk perawatan, peralatan medis, dan bahan implan (Paul et al., 2018).



**Gambar 2. 1** Ilustrasi 3D Printer

### 2.3 Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino Uno adalah mikrokontroler yang mempunyai 14 pin digital input/output yang mempunyai label 0 sampai 13, dan 6 analog input. 14 pin digital tersebut dari 6 pin input digunakan sebagai output PWM. Arduino Uno menggunakan IC mikrokontroler ATmega328 didalamnya memiliki 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, ICSP header, jack power, dan tombol reset. Arduino uno mudah dihubungkan dengan komputer dengan menggunakan kabel USB atau dbisa dengan memberikan daya AC to DC adaptor atau dengan baterai (Manual, 2022).



**Gambar 2. 2** Arduino Uno board

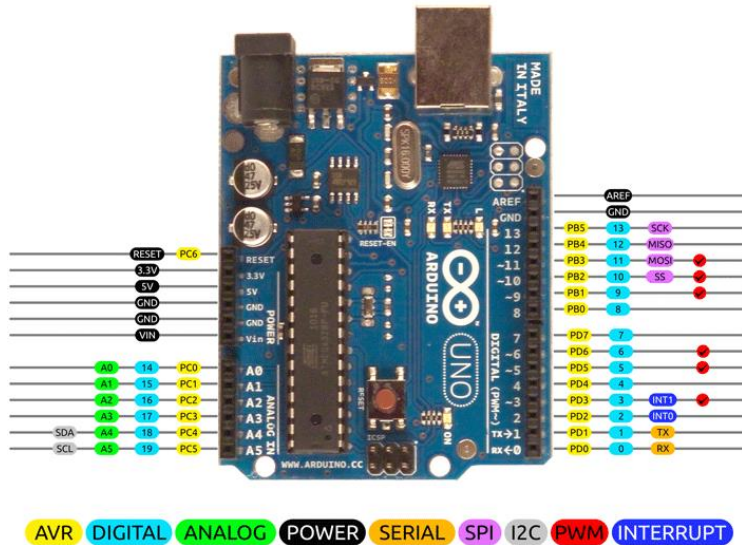
### 2.4.1 Input dan Output

Pada Arduino Uno terdapat 14 pin digital yang bisa digunakan sebagai input atau output dengan menggunakan fungsi `pinMode()` untuk menentukan pin sebagai input atau output, `digitalWrite()` untuk memberikan nilai 1 atau 0 kepada pin digital, dan `digitalRead()` untuk membaca nilai dari suatu inputan. Semua pin digital beroperasi pada 5 V, dan setiap pin bisa menerima maksimal 40 mA dan terdapat internal resistor pull-up 20-50 Kohm. Beberapa pin mempunyai fungsi spesial, yaitu antara lain:

1. Serial: 0 (RX) dan 1 (TX)  
RX digunakan untuk menerima dan TX untuk mengirim TTL data serial. Pin ini dihubungkan ke pin yang berkaitan dengan chip serial ATmega8U2 USB-to-TTL
2. Interupsi External: 2 dan 3  
Pin ini bisa digunakan untuk trigger sebuah interupsi pada nilai yang rendah. Fungsi yang digunakan yaitu `attachInterrupt()`
3. PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11  
Menyediakan output PWM 8-bit dengan fungsi yang bisa digunakan yaitu `analogWrite()`
4. SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK)  
Pin ini dapat mensupport komunikasi SPI, dengan menggunakan SPI library
5. LED: 13  
Terdapat LED yang ter tanam di dalamnya yang terkoneksi pada pin digital 13. Ketika diberi nilai HIGH maka LED akan ON, dan ketika diberikan nilai LOW LED akan OFF

Selain pin digital, pada Arduino Uno terdapat pin analog yang berjumlah 6, yang diberi nama A0 sampai A5, setiap pin tersebut terdapat resolusi 10 bit. Terdapat fungsi khusus dari pin tersebut, yaitu antara lain:

1. I2C: A4 (SDA) dan A5 (SCL)  
Pin ini mensupport komunikasi TWI dengan menggunakan Wire library
2. AREF  
Tegangan referensi untuk input analog, dengan menggunakan `analogReference()` (Manufacture, 2016).



**Gambar 2. 3** Pin Input/Output Arduino Uno

## 2.4.2 Memori

ATmega328 memiliki 32 KB (dengan 0,5 KB digunakan untuk bootloader), 2 KB dari SRAM dan 1 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan EEPROM library).

## 2.4.3 Daya

Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal (otomatis). Eksternal (non-USB) daya dapat berasal baik dari AC-ke adaptor DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan menancapkan plug jack pusat-positif ukuran 2.1mm konektor POWER. Ujung kepala dari baterai dapat dimasukkan ke dalam Gnd dan Vin pin header dari konektor POWER. Kisaran kebutuhan daya yang disarankan untuk board Uno adalah 7 sampai dengan 12 volt, jika diberi daya kurang dari 7 volt kemungkinan pin 5v Uno dapat beroperasi tetapi tidak stabil kemudian jika diberi daya lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan dapat merusak board Uno.

1. VIN.  
Tegangan masukan kepada board Arduino ketika itu menggunakan sumber daya eksternal (sebagai pengganti dari 5 volt koneksi USB atau sumber daya lainnya).
2. 5V. Catu daya digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lainnya.
3. 3v3. Sebuah pasokan 3,3 volt dihasilkan oleh regulator on-board.
4. GND. Ground pin.

#### **2.4.4 Komunikasi**

Arduino Uno memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega328 menyediakan UART TTL (5V) untuk komunikasi serial, yang tersedia di pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah ATmega8U2 sebagai saluran komunikasi serial melalui USB dan sebagai port virtual com untuk perangkat lunak pada komputer. Firmware '8 U2 menggunakan driver USB standar COM, dan tidak ada driver eksternal yang diperlukan. Namun, pada Windows diperlukan, sebuah file inf. Perangkat lunak Arduino terdapat monitor serial yang memungkinkan digunakan memonitor data tekstual sederhana yang akan dikirim ke atau dari board Arduino. LED RX dan TX di papan tulis akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB to-serial dengan koneksi USB ke komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

#### **2.4.5 Pemrograman**

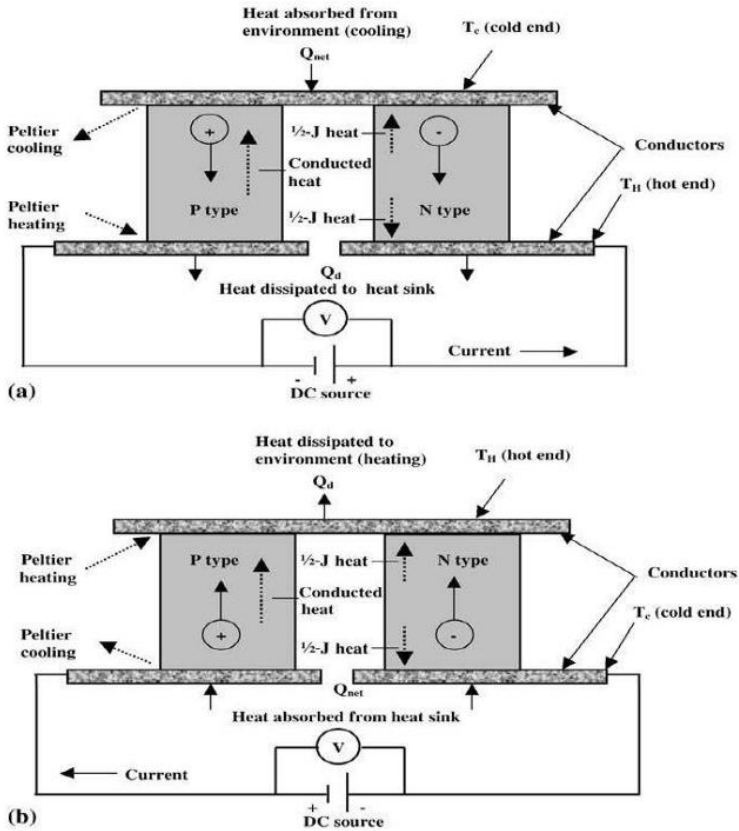
Arduino Uno dapat diprogram dengan menggunakan software Arduino, yaitu Arduino IDE.

### **2.4 Thermoelectric**

Thermoelectric cooling (TEC) atau peltier merupakan komponen yang dapat berfungsi sebagai pemanas dan pendingin. Prinsip pendingin termoelektrik, yaitu sisi lain dari permukaan panas, maka sisi lainnya pasti lebih dingin seperti sisi panas. Perbedaan suhu antara kedua sisi akan menghasilkan listrik. *Heatsink* diperlukan di samping pendinginan sehingga ada celah antara kedua sisi dan dapat menghasilkan listrik (Maysha et al., 2013).



Termoelektrik merupakan modul yang mempunyai prinsip kerja bergantung pada perbedaan suhu antara bagian atas (*cool side*) dan bagian bawah (*hot side*). Karena konduktansi termal dari bahan termoelektrik akan membuat panas akan berpindah dari sisi panas ke sisi dingin. Sisi dingin dari peltier disebabkan oleh keadaan konektor menyerap energi yang terjadi ketika electron dari material yang kekurangan elektron (*P-Type material*) bergerak ke material yang kelebihan electron (*N-Type material*). Skema elemen peltier ditunjukkan pada gambar 2.3. Bagian luar termoelektrik dibungkus dengan sejenis keramik tipis yang berisikan batang-batang bismuth telluride di dalamnya. Material tersebut adalah suatu semikonduktor yang didalamnya ditambahkan suatu zat tambahan. Zat tambahan tersebut bertujuan untuk memberikan kelebihan elektron bebas (*N-type semikonduktor*) atau memberikan kekurangan elektron bebas (*P-type semikonduktor*) (Gabert et al., 2006).



**Gambar 2. 4** Skematik dari Modul Termoelektrik Peltier (a) mode pendingin (b) mode pemanas

Perumusan modul peltier dirumuskan sebagai berikut

Kalor yang dipompa pada sisi dingin (*cool side*) adalah:

$$Q_c = a_m I T_c - \frac{1}{2} I^2 R_m - K_m (T_h - T_c) \quad (1)$$

Dimana  $a_m$  adalah koefisien Seebeck,  $R_m$  adalah resistansi elektik,  $K_m$  adalah konduktansi termal,  $I$  adalah arus yang melalui Peltier,  $T_c$  adalah temperature sisi dingin (*cool side*),  $T_h$  adalah temperature sisi panas (*hot side*).

Kalor yang dibuang dari sisi panas (*hot side*) adalah:

$$Q_h = a_m I T_h + \frac{1}{2} I^2 R_m - K_m (T_h - T_c) \quad (2)$$

Tegangan pada modul termoelektrik adalah:

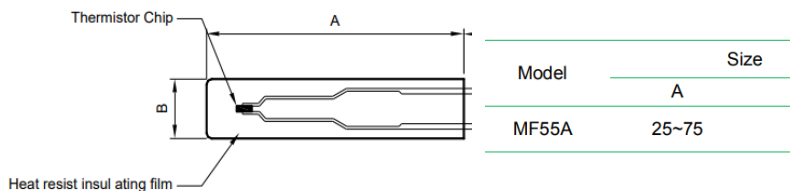
$$V = a_m (T_h - T_c) + I R_m \quad (3)$$

(Gabert et al., 2006).

Pada penelitian ini menggunakan sisi dingin dari Peltier untuk mendinginkan *cool bed*, dan sisi panas dibuang dengan menggunakan air yang dialirkan ke dalam *water cooling block*. Thermoelectric yang digunakan dalam penelitian ini yaitu thermoelectric yang mempunyai voltase sebesar 24 V.

## 2.5 Sensor Temperatur

Sensor NTC MF55 adalah sebuah sensor suhu yang mempunyai ukuran yang tipis dan kecil. Series MF55 adalah sebuah series thermistor NTC yang mempunyai akurasi yang tinggi yang dikemas dengan polyimide insulasi film. Film tipis pada NTC MF55 ini dapat memungkinkan sensor mempunyai waktu respon yang cepat dan cocok untuk digunakan pada ruang pemasangan yang sangat *compact* (Battery, n.d.).



**Gambar 2. 5** Ukuran Sensor NTC MF55

Item	Parameter
Range Resistansi	0.3 – 3000 K Ohm

Range Suhu	-30 – 120 °C
Dissi. Koefisien	2 mW/ °C
Tahan Tegangan	DC500V, $\geq 100M\ \Omega$

## 2.6 Driver IBT2 – BTS7960

Driver BTS7960 adalah driver yang berfungsi untuk mengontrol kecepatan motor dengan menggunakan PWM dengan kapabilitas mencapai 25kHz yang menggunakan sumber tegangan DC. Driver BTS7960 menggunakan rangkaian *full H-Bridge* yang terdapat MOSFET yang terintegrasi di dalamnya.



**Gambar 2. 6** Driver IBT2 – BTS7960

### 2.6.1 Input IBT2 – BTS7960

Tegangan input yang diberikan pada driver BTS7960 yakni pada range 3,3 – 5 V yang dapat mendrive memberikan sumber DC pada range 5,5 Volt sampai dengan 27 Volt DC. Driver BTS7960 dapat bekerja pada *duty cycle* 0 – 100% (Rittenberry, 2016).

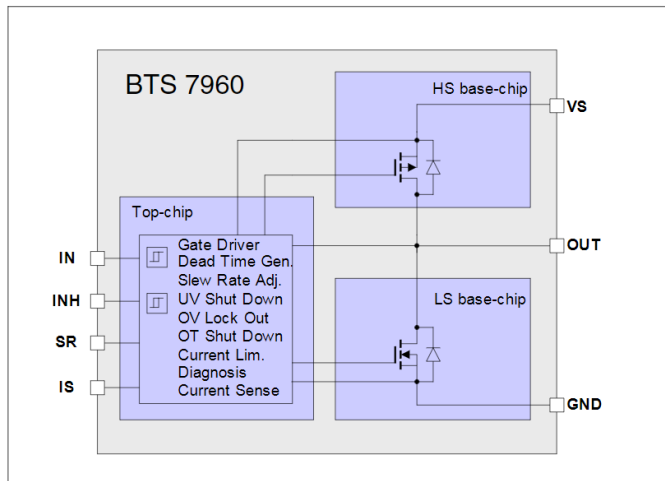
### 2.6.2 Pinout IBT2 – BTS7960

Driver BTS7960 mempunyai 8 pin yang mempunyai fungsi masing-masing seperti berikut.

1. RPWM: pin yang *memforward* level atau signal PWM yang mengendalikan arah kanan

2. LPWM: pin yang mem*reversed* level atau signal PWM yang mengendalikan arah kiri
3. R\_EN: pin yang men-*enable* input pada drive *forward*
4. L\_EN: pin yang men-*enable* input pada drive *reversed*
5. R\_IS: pin sinyal input untuk mendeteksi arus tinggi – rotasi lurus
6. L\_IS: pin sinyal input untuk mendeteksi arus tinggi – rotasi terbalik

(Current & Half, n.d.).



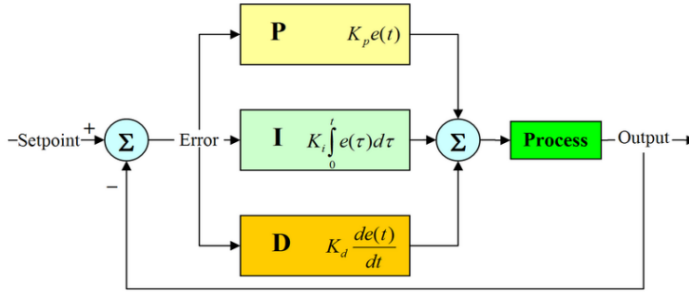
**Gambar 2. 7** Diagram Blok Driver IBT2 – BTS7960

## 2.7 Kontroler PID (Proportional, Intergral, Derivative)

Menurut (Handy Wicaksono, 2004) salah satu jenis kontroler yang paling umum ditemui adalah kontroler PID. Kontroler sendiri adalah suatu perangkat yang memiliki tugas mengurangi sinyal kesalahan. Parameter-parameter penyusun kontroler ini (P, I, dan D) bersamaan dimanfaatkan untuk mempersingkat waktu reaksi suatu system, mengurangi offsetnya, serta menghasilkan perubahan awal yang besar. Pendapat lain dikemukakan oleh (Wisnu et al., 2016) menurutnya, Kontrol PID (*Proportional, Intergral, dan Derivative*) adalah suatu teknik pengontrolan yang umum digunakan dalam bidang industri. Kontrol PID terdiri dari tiga komponen kontroler (P, I, dan D)

yang dapat digunakan secara bersamaan (parallel) ataupun terpisah. Sistem kontrol ini memiliki persamaan umum sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$



**Gambar 2. 8** Blok Digram Kontrol PID

(Wisnu et al., 2016)

Berdasarkan persamaan (1) diketahui bahwa output dari kontrol PID yang dinyatakan dalam  $u(t)$  berasal dari operasi penjumlahan dari ketiga parameter gain, dimana ketiga parameter tersebut juga dipengaruhi oleh error ( $e$ ) dan waktu ( $t$ ).

#### 1. Kontrol Proportional (P)

Menurut (Wisnu et al., 2016) Kontrol Proportional memiliki output yang proporsional terhadap sinyal errornya. Sinyal error sendiri adalah selisih dari sinyal yang diinginkan dengan sinyal yang sebenar-benarnya didapatkan, sinyal ini juga disebut sebagai sinyal kesalahan. Ketika pada masukan terdapat perubahan sinyal, maka dari system akan dikeluarkan sinyal keluaran yang besarnya senilai dengan konstanta pengalinya. Kontrol Proportional dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2)$$

Dimana:

- $u(t)$  = sinyal keluaran

- $K_p$  = Gain Proportional
- $e(t)$  = error

Menurut (Ali et al., 2022) Kontrol Proportional memiliki beberapa karakteristik, di antaranya:

- 1) Jika  $K_p$  disetting dengan nilai kecil: rise time akan meningkat karena koreksi hanya dapat dilakukan terhadap kesalahan yang kecil
  - 2) Jika  $K_p$  disetting dengan nilai yang lebih tinggi: rise time akan mengurang karena respon system akan lebih cepat mencapai kestabilan
  - 3) Jika  $K_p$  disetting dengan nilai yang terlalu besar : respon system akan berosilasi (system tidak stabil)
  - 4)  $K_p$  dapat dimanfaatkan untuk menurunkan steady state error. Namun, tidak dapat menghilangkannya.
2. Kontrol Integral

Menurut (Wisnu et al., 2016) Kontrol integral adalah suatu kontrol yang difungsikan untuk meminimalisir error steady-state. Kontrol integral akan memastikan suatu system menghasilkan keluaran berupa respon system yang diinginkan. Persamaan kontrol parameter ini dinyatakan dalam:

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (3)$$

Dimana:

- $u(t)$  = sinyal keluaran
- $K_i$  = Gain Integral
- $e(t)$  = error

Menurut (Ali et al., 2022) Kontrol Integral memiliki beberapa karakteristik, di antaranya:

- 1) Kontrol jenis ini cenderung mengurangi kecepatan respon system, hal tersebut dikarenakan Kontrol Integral membutuhkan waktu
- 2) Keluaran kontrol jenis ini tidak akan berubah jika nilai error bernilai nol

- 3) Keluaran kontrol jenis ini akan berubah dengan menghasilkan kenaikan atau penurunan jika sinyal error tidak bernilai nol. Besar keluaran yang dihasilkan bergantung pada sinyal error dan nilai  $K_i$  yang digunakan
- 4) Jika  $K_i$  disetting di nilai yang tinggi: nilai offset akan semakin cepat hilang
- 5) Jika  $K_i$  disetting di nilai yang terlalu tinggi: sinyal akan berosilasi

### 3. Kontrol Derivative

Menurut (Wisnu et al., 2016) Kontrol Derivative bekerja dengan prinsip derivative. Parameter yang digunakan sebagai parameter pengontrol pada jenis kontrol ini adalah kecepatan perubahan sinyal error. Oleh karena itu, jika tidak terdapat perubahan sinyal error, keluaran dari kontrol ini tidak berubah. Persamaan kontrol parameter ini dinyatakan dalam:

$$u(t) = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (4)$$

Dimana:

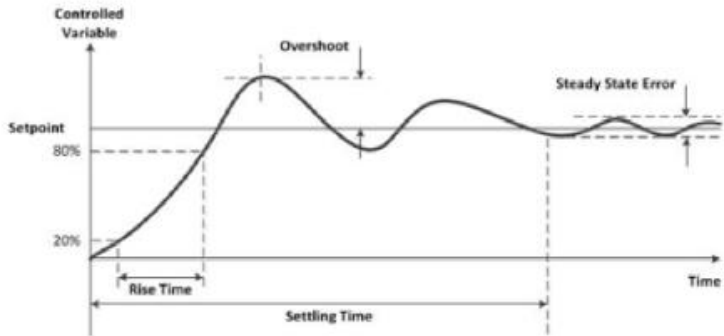
- $u(t)$  = sinyal keluaran
- $K_i$  = Gain Derivative
- $e(t)$  = error

Menurut (Ali et al., 2022) Kontrol Derivative memiliki beberapa karakteristik, di antaranya:

- 1) Kontrol jenis ini hanya akan menghasilkan keluaran jika terdapat perubahan sinyal error
- 2) Kontrol jenis ini dapat mengantisipasi kesalahan, karena memiliki sifat untuk mendahului. Sehingga dapat dilakukan proses koreksi sinyal sebelum error yang terjadi membesar.
- 3) Jika nilai  $K_d$  disetting tinggi: overshoot berkurang dan system menjadi lebih stabil.

Menurut (Soebhakti et al., 2017) Rise time, overshoot, settling time, dan error steady state sendiri adalah parameter utama yang dijadikan sebagai kriteria performa dari suatu system.





**Gambar 2. 9** Respon Sistem PID

(Soebhakti & Fatekha, 2017)

Ketika pada suatu system diberikan sinyal masukan, maka system tersebut akan mengeluarkan sinyal keluaran yang berusaha mengikuti set point dari system tersebut. Ketika sinyal keluaran melebihi sinyal setpoint, maka akan terhasil simpangan tertinggi yang disebut sebagai *overshoot*. Diketahui pula waktu yang dibutuhkan agar sinyal naik dari 20% sampai dengan 80% dari sinyal referensi yang disebut sebagai *rise time*. Ketika sinyal keluaran telah mendekati sinyal set point, maka akan terjadi osilasi pada sinyal tersebut hingga akhirnya sinyal akan berosilasi pada nilai yang tetap. Keadaan tersebut disebut sebagai *error steady state*. Kemudian, waktu yang dibutuhkan dari sinyal kelauran terhasil hingga mencapai keadaan error steady state disebut sebagai *settling time*.

Dalam penelitian ini menggunakan semua komponen dalam PID yaitu  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  untuk mengontrol temperature pada *coolbed*. Untuk mendapatkan nilai dari masing-masing komponen tersebut dengan menggunakan *software* Matlab untuk dilakukan pengolahan data hasil input dan output dari sistem untuk mencarifungsi transfernya dan untuk mengetahui nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dengan melakukan *tuning*.

## 2.8 PWM (Pulse Width Modulation)

PWM digunakan untuk menghasilkan sinyal digital dengan level tegangan yang berbeda, output yang dihasilkan berupa pulsa

digital dengan frekuensi yang beragam dan *duty cycle*. *Duty cycle* menunjukkan perbandingan antara  $T_{HIGH}$  dengan  $T_{LOW}$ .  $T_{HIGH}$  merupakan seberapa lama sinyal logika HIGH, sedangkan  $T_{LOW}$  merupakan seberapa lama sinyal logika LOW. *Duty cycle* ditunjukkan pada persamaan (1.1).

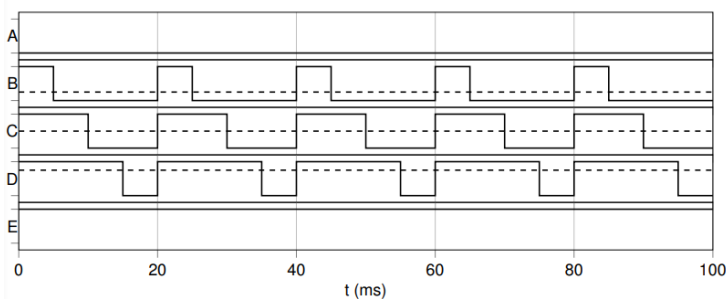
$$Duty\ cycle = \frac{T_{HIGH}}{T_{HIGH} + T_{LOW}}$$

Intensitas tegangan efektif (atau disebut sebagai tegangan rata-rata) dari sinyal juga dapat berubah ketika *duty cycle* berubah. Mulai dari OFF, yaitu ketika *duty cycle* bernilai 0%, hingga ON yaitu ketika *duty cycle* bernilai 100%. Nilai tegangan rata-rata ini dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1.2).

$$\bar{V} = Duty\ cycle \times V_{MAX} + (1 - Duty\ cycle) \times V_{MIN}$$

Dengan  $V_{MAX}$  merupakan nilai tegangan maksimum, yaitu sebesar  $V_{CC}$  dan  $V_{MIN}$  merupakan nilai tegangan minimum, yaitu sekitar 0 V.

Nilai dari frekuensi PWM merupakan banyak dari siklus (*cycle*) penuh yang terjadi pada satuan waktu. Semakin tinggi nilai frekuensi PWM maka semakin pendek waktu yang diperlukan untuk memenuhi satu siklus. sebaliknya, jika suatu siklus penuh memerlukan waktu yang lebih lama, maka nilai frekuensi PWM nya lebih rendah. Nilai frekuensi PWM ini tidak bergantung pada nilai *duty cycle*.



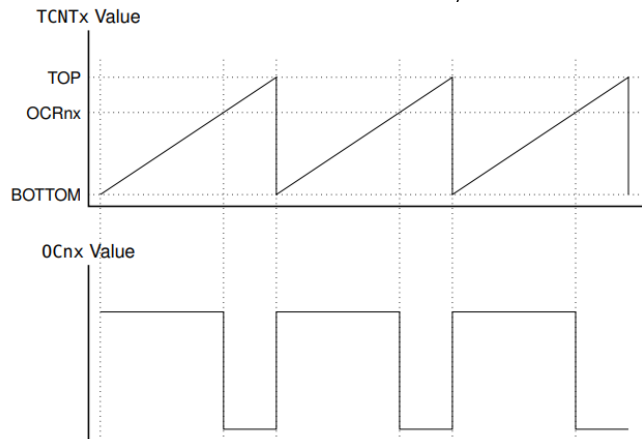
**Gambar 2. 10** Sinyal PWM dengan beberapa duty cycle yang berbeda

- **Mode Fast PWM**

Pada mode ini, timer atau counter dihitung dari nilai minimum (BOTTOM) ke maksimum (TOP) kemudian mulai lagi dari nilai minimum. Nilai maksimum dapat diatur dari register OCRnA atau berupa nilai MAX. Ketika timer atau counter mencapai nilai MAX (0xFF atau 0xFFFF), maka *overflow flag* (TOVn) akan menjadi *set*. Jika nilai maksimumnya diatur melalui register OCRnA, maka ketika timer atau counter mencapai nilai tersebut, *output compare flag* (OCFnA) akan menjadi *set*.

Periode dari mode Fast PWM dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1.3) dengan N merupakan nilai *prescaler* dan TOP merupakan nilai maksimum yang digunakan.

$$T = N \times (TOP + 1)T_{1/\phi}$$



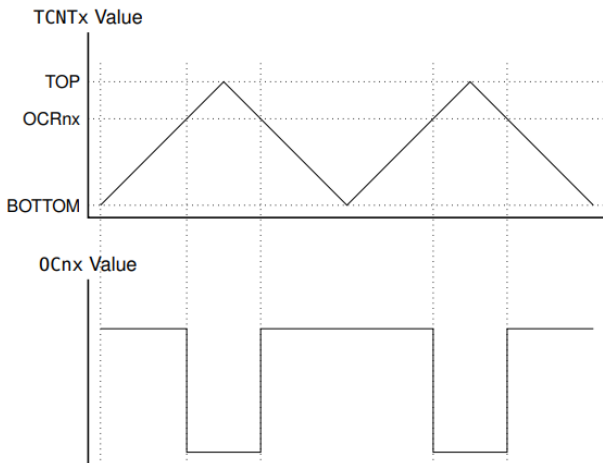
**Gambar 2. 11** Contoh sinyal Mode fast PWM

- **Mode Phase-Correct PWM**

Pada mode ini, timer atau counter naik dari nilai minimum ke nilai maksimum, kemudian turun lagi menuju nilai minimum. Nilai maksimum dapat diatur dari register OCRnA atau berupa nilai MAX. Ketika timer atau counter mencapai nilai

MAX (0xFF atau 0xFFFF), maka *overflow flag* (TOVn) akan menjadi *set*. Jika nilai maksimumnya diatur melalui register OCRnA, maka ketika timer atau counter mencapai nilai tersebut, *output compare flag* (OCFnA) akan menjadi *set*. Periode dari mode Fast PWM dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1.4) dengan N merupakan nilai *prescaler* dan TOP merupakan nilai maksimum yang digunakan.

$$T = 2 \times N \times (TOP + 1)T_{I/O}$$



**Gambar 2. 12** Contoh sinyal Mode Phase-Correct PWM

- **Mode Phase-and Frequency-Correct PWM**  
Mode ini sama seperti mode phase-correct PWM, kecuali pada periode outputnya. Mode ini digunakan ketika frekuensi PWM berubah pada saat sistem beroperasi. Register OCR1A dan ICR1 digunakan untuk memberikan nilai maksimum. Periode dari sinyal pada mode ini sama seperti sinyal mode phase-correct PWM.

(A lyssa J. P asquale, 2022)

- **Mode Normal**  
Pada mode ini, nilai minimum cacahan adalah 0, kemudian naik ke nilai maksimum yaitu MAX (0xFF atau 0xFFFF),

kemudian mengalami *overflow* atau nilai cacahan kembali ke nilai minimumnya. Hal tersebut membuat *overflow flag* pada timer berlogika tinggi.

- Mode Clear Timer on Compare Match

Mode CTC ini memiliki cara kerja yang hampir sama dengan mode normal, perbedaannya terletak pada nilai maksimum cacahan dibatasi oleh nilai yang diberikan pada register OCR1A atau ICR1, sehingga nilai tertingginya dapat diatur di bawah nilai MAX. ketika nilai cacahan sama dengan nilai yang disimpan pada register OCR1A atau ICR1, maka terjadi *compare match*.

(Dharmawan, 2017).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Plasma dan Material Maju Departemen Fisika Universitas Brawijaya dan dimulai pada bulan September 2023 sampai dengan November 2023.

#### **3.2 Peralatan dan Bahan**

Penelitian yang dilakukan membutuhkan beberapa alat dan bahan yang terbagi menjadi dua yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

##### **3.2.1 Perangkat Keras**

Terdapat beberapa alat dan komponen yang digunakan sebagai penunjang penelitian, antara lain:

1. Thermoelektrik
2. Driver Motor IBT-2 BTS7960
3. Mikrokontroler Arduino Uno
4. Sensor suhu NTC MF55 100K
5. Sensor suhu DS18B20
6. Pompa Yamano Water Pump SP-200
7. Box Pendingin
8. Selang air
9. *Ice Pack*
10. *Tool set* obeng yang digunakan dalam pemasangan dan pengencangan baut
11. Komputer/laptop pribadi

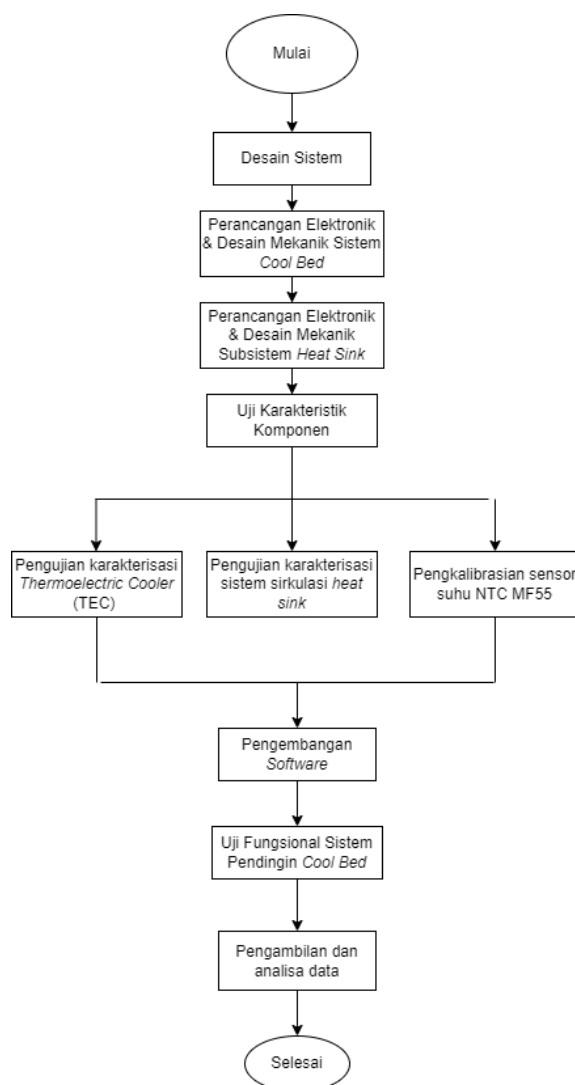
##### **3.2.2 Perangkat Lunak**

Setelah diketahui alat dan bahan perangkat keras yang digunakan maka perlu diketahui juga perangkat lunak yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. Windows 11
2. Autodesk Inventor
3. Arduino IDE
4. Easy EDA
5. Draw.io

### 3.3 Prosedur Penelitian

Berikut merupakan prosedur penelitian yang akan dilaksanakan



**Gambar 3. 1** *Flowchart* Prosedur Penelitian

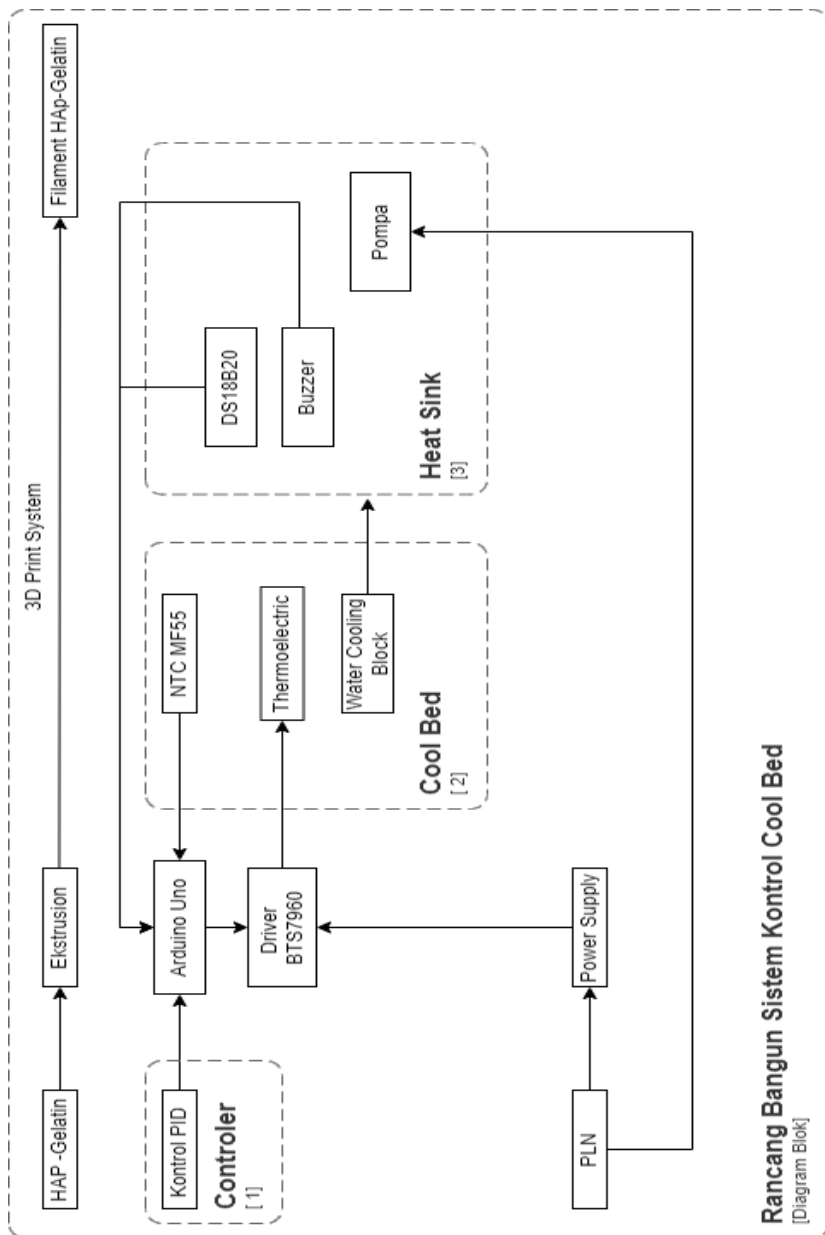
### 3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur perlu dilakukan untuk di dapatkan berbagai referensi terkait dengan penelitian yang dilakukan. Referensi yang diperlukan terkait penelitian adalah terkait 3D *printing*, Mikrokontroler Arduino Uno, *Thermoelectric* (TEC), Sensor NTC MF55 100K, sensor DS18B20, driver IBT 2- BTS7960 serta sistem kontrol PID.

### 3.3.2 Desain Sistem

Pembuatan blok diagram dilakukan untuk mempermudah dalam cara kerja dan perbaikan alat. Gambar 3.2 adalah diagram blok sistem yang terbagi menjadi tiga bagian, yaitu *controler*, *cool bed*, dan *heat sink*. Bagian *controller* menggunakan PID guna untuk mengontrol sistem agar tetap pada *set point* yang telah ditentukan yakni 0°C. Penambahan PID sendiri dimasukkan ke dalam program dengan memasukkan persamaan matematika dari masing-masing konstanta, yakni P (Proporsional) didapatkan dari hasil kali error dengan  $K_p$ , dan I (Integral) didapatkan dari hasil perkalian antara penjumlahan error dengan nilai  $K_i$ , sedangkan D (Derivative) didapatkan dari hasil perkalian selisih error dengan nilai  $K_d$ . Selanjutnya bagian kedua adalah *cool bed* yang terdiri dari Thermoelektrik, sensor suhu NTC MF55, dan juga mikrokontroler Arduino Uno, dimana sensor NTC MF55 akan menghasilkan pengukuran suhu di *cool bed* yang digunakan sebagai *feedback* pada sistem kontrol PID. Pada bagian ketiga, adalah bagian *heat sink* yang berfungsi untuk mengalirkan/membuang panas dari thermoelektrik dengan menggunakan air, dimana air dipompa dengan menggunakan pompa Yamano Water Pump SP-200 dengan menggunakan selang yang dialirkan ke dalam *water cooling block*. Di dalam sistem *heat sink* ini terdapat pengukuran suhu yang berguna untuk mengukur suhu pada air di dalam box pendingin dan terdapat *buzzer* yang akan menyala ketika suhu air melewati batas suhu.





**Gambar 3. 2** Diagram Blok Penelitian

Berikut ini adalah alat dan bahan yang digunakan dalam proses penelitian.

1. Thermoelektrik  
prinsip electron diserap ke sisi panas thermoelectric sehingga menghasilkan sisi dingin thermoelectric yang digunakan untuk mendinginkan plat aluminium sebagai tempat pencetakan *scaffold* pada 3D printer. TEC dapat bekerja sampai suhu sampai dengan  $-15^{\circ}\text{C}$ .
2. Sensor suhu NTC MF55  
Sensor suhu NTC MF55 digunakan untuk mendeteksi suhu plat *coolbed* selama dilakukan pendinginan oleh TEC. Nilai hasil deteksi suhu oleh Sensor suhu NTC MF55 digunakan sebagai *feedback* oleh mikrokontroler dalam melakukan kontrol suhu dengan menggunakan sistem kontrol PID.
3. Sensor suhu DS18B20  
Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu air pada sistem *heat sink*.
4. Driver IBT - BTS7960  
Driver IBT - BTS7960 digunakan sebagai driver untuk thermoelectric cooler (TEC) yang digunakan untuk pengatur tegangannya dengan menggunakan PWM, sehingga driver IBT - BTS7960 dapat digunakan untuk mengontrol pemanas dan pendingin TEC.
5. Arduino Uno  
Arduino Uno adalah mikrokontroler 32 bit yang mempunyai konsumsi daya rendah yang digunakan untuk kontrol suhu TEC serta untuk pemrosesan data hasil pengukuran sensor suhu NTC MF55 yang digunakan untuk sistem kontrol PID.
6. Pompa  
Pompa digunakan untuk sirkulasi air dari box air ke *watering cooling block* yang digunakan sebagai pendingin thermoelectric. Pompa memompa air dari box ke air yang telah melewati sisi panas dari thermoelectric.

### 3.3.3 Perancangan Elektronik dan Desain Perangkat Pengambil Panas dan Pengontrol

Perancangan sistem *cool bed* dibuat untuk memberikan suhu rendah pada alas sehingga filamen yang keluar dari ekstruder dapat segera mengeras dan tidak meluber. Pada perancangan sistem *cool bed* ini digunakan termoelektrik sebagai pendinginnya, dimana sistem kerjanya yaitu memompa panas dari sisi dingin ke sisi panas, sehingga menghasilkan dua sisi yang mempunyai suhu yang berbeda. Termoelektrik yang digunakan ini berjenis HT100222, termoelektrik akan dihubungkan dengan driver IBT – BTS7960 yang difungsikan sebagai driver termoelektrik, dimana termoelektrik akan diatur voltase yang masuk dengan PWM (*pulse width modulation*) dari pin digital Arduino Uno. Besar suhu yang dihasilkan dari termoelektrik bergantung terhadap besar PWM yang akan diberikan. Besar PWM berkaitan dengan *duty cycle*. Persamaan dari *duty cycle* yaitu:

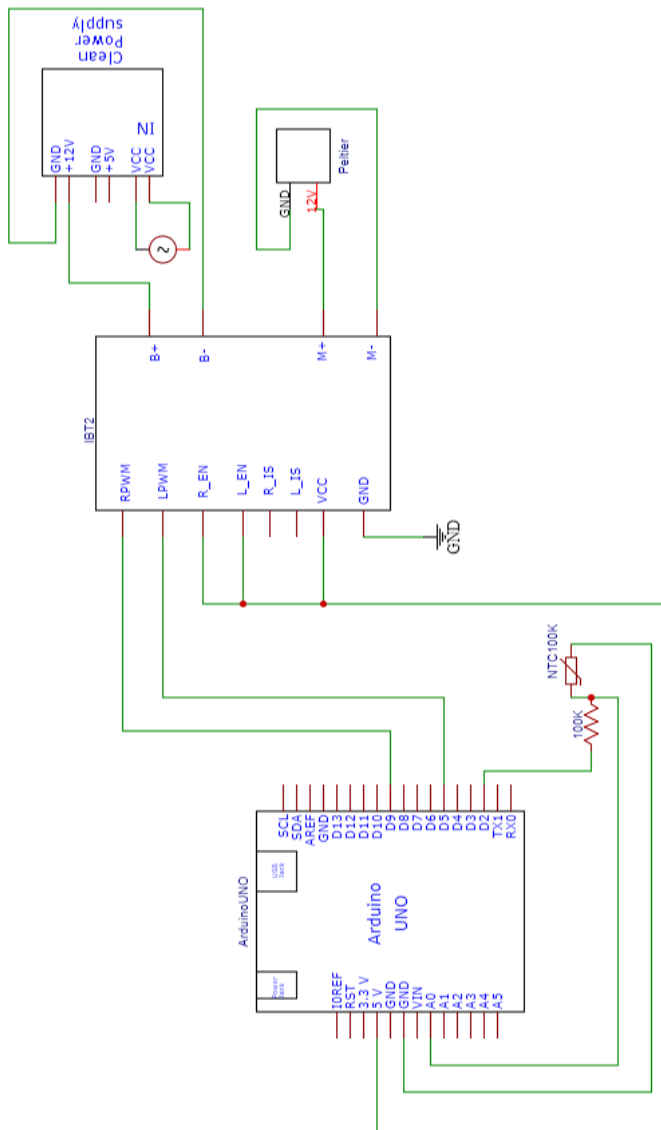
$$Duty\ cycle = \frac{T_{HIGH}}{T_{HIGH} + T_{LOW}}$$

Apabila *duty cycle* yang diberikan semakin besar maka  $V_{out}$  yang dihasilkan juga akan semakin besar

$$V_{out} = Duty\ cycle \times V_{in}$$

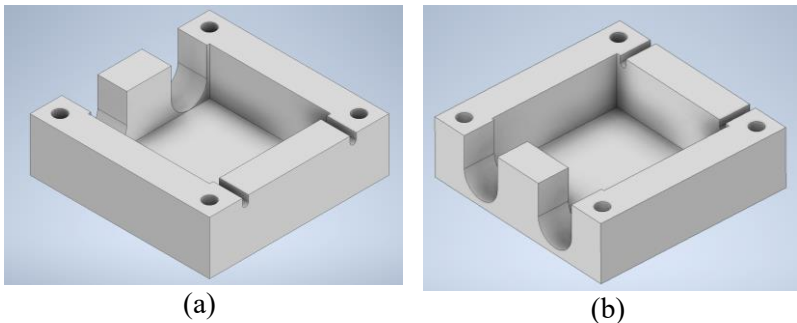
Termoelektrik akan diberikan tegangan dari *power supply* dengan besar 24 V/5 A sebagai  $V_{in}$  -nya.

Untuk mengetahui besar suhu pada sistem *cool bed* digunakan sensor suhu NTC MF55 100k yang diletakkan di atas aluminium. NTC MF55 akan membaca suhu pada permukaan aluminium yang telah mendapatkan suhu dingin dari termoelektrik. Untuk mengolah data hasil pengukuran sensor suhu NTC MF55 digunakan mikrokontroler Arduino Uno. Di bagian bawah termoelektrik untuk membuang panas dari sisi panas termoelektrik ditambahkan *water cooling block* yang akan dialiri dengan campuran air dan es dari sistem *heatsink*. Sehingga air akan membuang panas pada sisi panas termoelektrik. Skematik sistem *cool bed* ditunjukkan pada gambar 3.3.

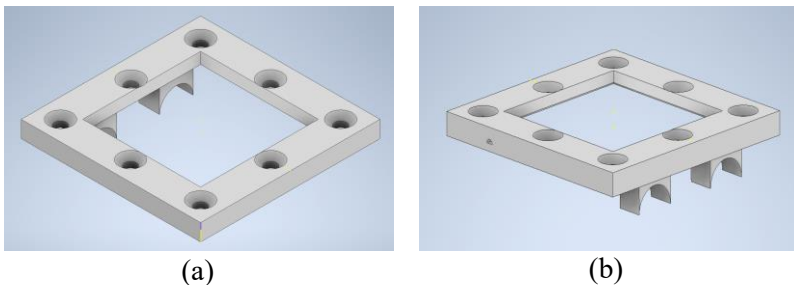


**Gambar 3.3** Skematik Rangkain *Cool Bed*

Keempat komponen pada *cool bed* yakni termoelektrik, sensor suhu, aluminium, dan *water cooling block* harus dipasang dengan erat agar proses pompa dan transfer suhu antar komponen dan juga pembacaan suhu pada *cool bed* dapat berjalan dengan sesuai, apabila komponen, terutama pada termoelektrik dengan aluminium dan *water cooling block* tidak dipasang dengan erat, maka dapat membuat termoelektrik tidak dapat difungsikan sebagai pendinginan pada *cool bed*. Oleh sebab itu, pada perancangan *cool bed* dibuat desain *top cooler* dan *base cooler* yang masing-masing diletakkan di bagian atas dan bawah pada sistem *cool bed* yang akan dipasang direkatkan dengan menggunakan baut dan mur yang di pasang dengan kencang. Hasil desain *top cooler* dan *base cooler* ditunjukkan pada gambar 3.5.



**Gambar 3. 4** (a) Tampak Kiri (b), Tampak Kanan *Base Cooler*

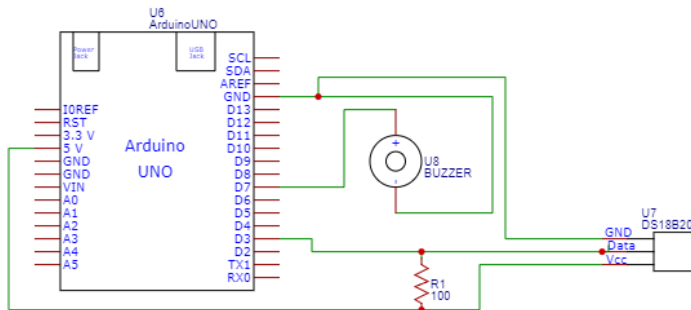


**Gambar 3. 5** (a) Tampak Atas, (b) Tampak Samping *Top Cooler*

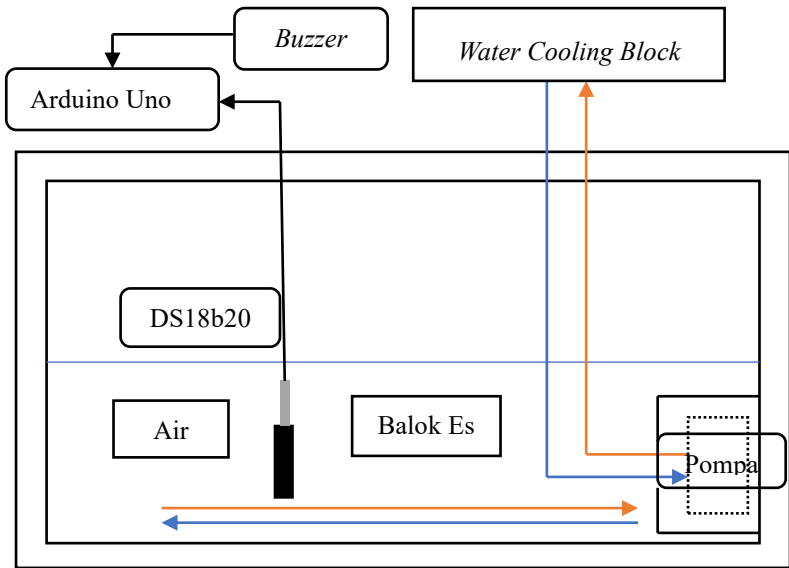
### 3.3.4 Perancangan Elektronik dan Desain Subsistem *Heatsink*

Subsistem *heatsink* adalah subsistem yang terdapat pada *cool bed* yang berfungsi sebagai pembuang panas pada sisi panas thermoelektrik, agar thermoelektrik dapat digunakan sebagai pendingin pada sistem *cool bed*. Pada subsistem *heatsink* digunakan pompa yamano water pump SP-200 sebagai pemompa air box pendingin yang berisi air dan es ke *water cooling block* yang terletak menempel pada sisi panas thermoelektrik. Kecepatan pompa dibuat konstan, tanpa dilakukan perubahan kecepatan pada pompanya.

Pada box pendingin didalamnya terdapat pompa Yamano Water Pump SP-200 yang dihubungkan dengan selang ke *water cooling block* serta diberikan sensor suhu DS18B20 yang digunakan untuk mengukur suhu air di dalam box pendingin. Untuk menjaga suhu air di dalam, box pendingin harus diberikan tutup dan ditutup dengan rapat. Diberikan *buzzer* yang digunakan sebagai *alarm* sebagai tanda bahwa es perlu diganti dengan yang baru, hal tersebut difungsikan agar suhu air yang digunakan untuk *heatsink* tetap dingin dan dapat digunakan untuk membuang panas dari thermoelektrik. Untuk mengolah data dan mengontrol pada *heatsink* digunakan mikrokontroler Arduino uno. Skematik rangkaian *heatsink* ditunjukkan pada gambar 3.6, serta pada gambar 3.7 adalah gambar subsistem *heatsink*.



**Gambar 3. 6** Skematik Rangkaian *Heat sink*



**Gambar 3. 7** Subistem *Heat Sink*

### 3.3.5 Uji Karakteristik Komponen

Pengujian karakteristik komponen meliputi pengujian karakterisasi sistem sirkulasi *heatsink*, pengujian karakterisasi *thermoelectric cooler* (TEC), dan pengkalibrasian sensor suhu NTC MF55.

#### 3.3.5.1 Pengujian Karakterisasi Sistem Sirkulasi *Heatsink*

Pengujian karakterisasi sistem sirkulasi *heatsink* dilakukan untuk mengetahui bagaimana karakteristik suhu air dan es dengan panas yang diberikan dari *thermoelektrik* dan untuk mrngetahui kecepatan aliran air pada *heatsink*. Kecepatan air pada *heatsink* dibuat konstan, yakni tanpa dilakukan pengubahan kecepatan pada pompa. Untuk mengetahui kecepatan aliran air pada *heatsink* digunakan rumus yaitu:

$$v \text{ (Laju Air)} = \frac{Q \text{ (Debit Air)}}{A \text{ (Luas Penampang)}}$$

$$Q = \frac{V(\text{Volume Air})}{t (\text{Waktu})}$$

Untuk mengetahui karakteristik hubungan dari suhu air dengan panas thermoelektrik perlu dilakukan pengambilan data hubungan waktu dengan suhu air pada box pendingin ketika thermoelektrik dinyalakan dan ketika thermoelektrik dimatikan. Dari masing-masing data tersebut akan diketahui juga kalor laten dari es. Serta dari perbandingan data ketika thermoelektrik dinyalakan dan dimatikan akan diketahui perbedaan suhu dan pengaruhnya suhu thermoelektrik terhadap suhu air pada box pendingin.

### **3.3.5.2 Pengujian Karakterisasi *Thermoelectric Cooler* (TEC)**

Pengujian karakterisasi *thermoelectric cooler* (TEC) dilakukan untuk mengetahui hubungan suhu yang dihasilkan dari thermoelektrik dengan nilai PWM yang diberikan. PWM diberikan dari sinyal pin digital dari mikrokontroler Arduino Uno dengan menggunakan driver IBT 2- BTS7960. PWM diberikan dengan variasi yakni 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. PWM diberikan dengan memberikan nilai digital pada driver IBT 2- BTS7960 yakni pada pin 5 yaitu L PWM, dan diberi nilai 0 pada R PWM.

### **3.3.5.3 Pengkalibrasian Sensor Suhu NTC MF55 100K**

Pengujian sensor suhu NTC MF55 100K dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat hasil pengukuran dari sensor dengan cara membandingkan hasil pengukuran sensor suhu NTC MF55 100K dengan menggunakan modul sensor suhu PT-100. Data perbedaan pengukuran kedua sensor suhu tersebut dicari nilai regresinya dan didapatkan variabel x yang akan dimasukan ke dalam program sistem, sehingga hasil dari pembacaan sensor NTC MF55 akan akurat. Media yang diukur yakni Es yang telah dibekukan pada suhu di bawah 0°C.

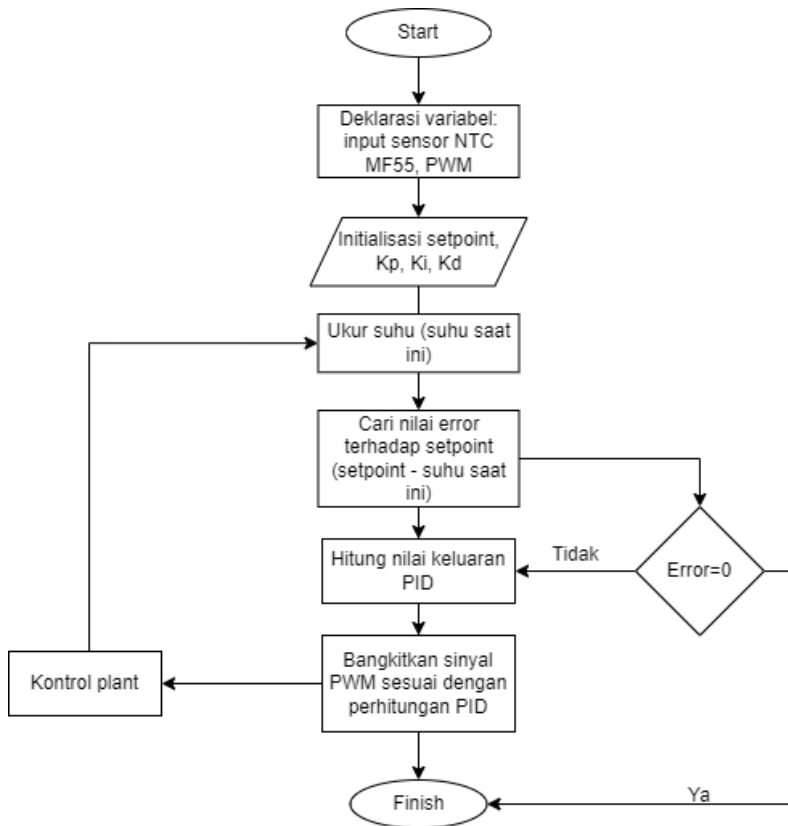




**Gambar 3. 8** Kalibrasi NTC MF55

### **3.3.4 Pengembangan Prosedur dan *Software* Pendinginan**

Pengembangan *software* meliputi desain program untuk sistem kontrol PID dalam mengontrol suhu *cool bed* dan juga sistem kontrol pada *heat sink*. Desain *software* meliputi program sistem kontrol PID yang di dalamnya terdapat pembacaan pengukuran sensor suhu NTC MF55 100K yang digunakan untuk *feedback* dalam sistem kontrol PID, serta program untuk kontrol suhu pada *heat sink* agar tidak melebihi suhu yang telah ditentukan. Gambar 3.9 adalah diagram alir program sistem kontrol PID.



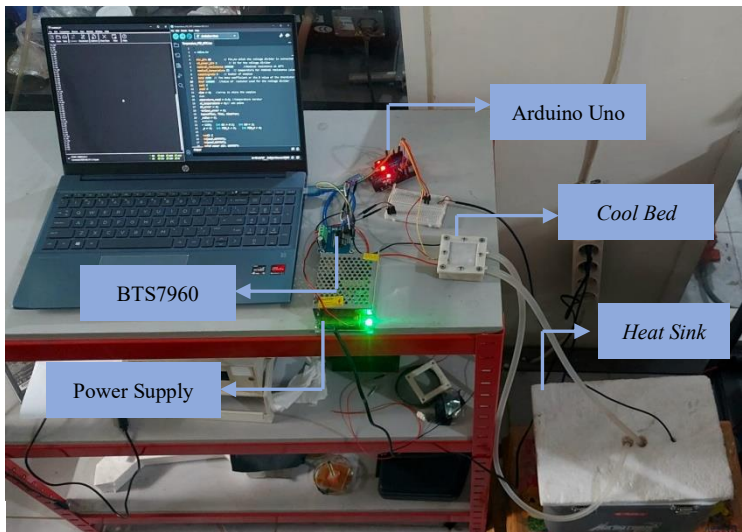
**Gambar 3. 9** Flowchart Pemrograman PID

### 3.3.6 Uji Fungsional Sistem Pendingin Cool Bed

Pengujian fungsional merupakan pengujian sistem pendingin *coolbed* yang bertujuan untuk menentukan kualitas dan respon yang diinginkan. Dalam pengujian sistem pendingin *coolbed*, bagian yang diuji adalah suhu *cool bed*, suhu air pendingin thermoelektrik, dan sistem kontrol PID. Setelah dilakukan pengujian, diamati respon yang dihasilkan, dipastikan bahwa sistem sudah sesuai dengan *set point* yang telah ditetapkan, apabila respon belum sesuai maka dilakukan pengulangan dari proses perancangan alat, apabila respon yang dihasilkan sudah sesuai dengan yang ditetapkan maka dilakukan pengambilan data dan analisa hasil.

### 3.3.7 Pengambilan dan Analisa Data

Pengambilan dan Analisa data merupakan tahapan akhir dari penelitian. Pengambilan data yang dilakukan untuk mendapatkan hasil sistem kontrol suhu pada *cool bed* yang terbaik dan dapat mengontrol suhu pada *cool bed* tetap sesuai pada *set point* yang ditentukan ketika diberikan filament ataupun tanpa diberikan filament pada *cool bed*. Sedangkan Analisa data dilakukan untuk mengetahui nilai PID yang paling sesuai dalam sistem kontrol suhu pada *cool bed*. Hasil sebenarnya dari pelaksanaan penelitian dan pengujian dituliskan dalam laporan. Penyusunan laporan akhir akan dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan dan data sebenarnya dari hasil pengujian. Instalasi pengujian ditunjukkan sesuai dengan gambar berikut:



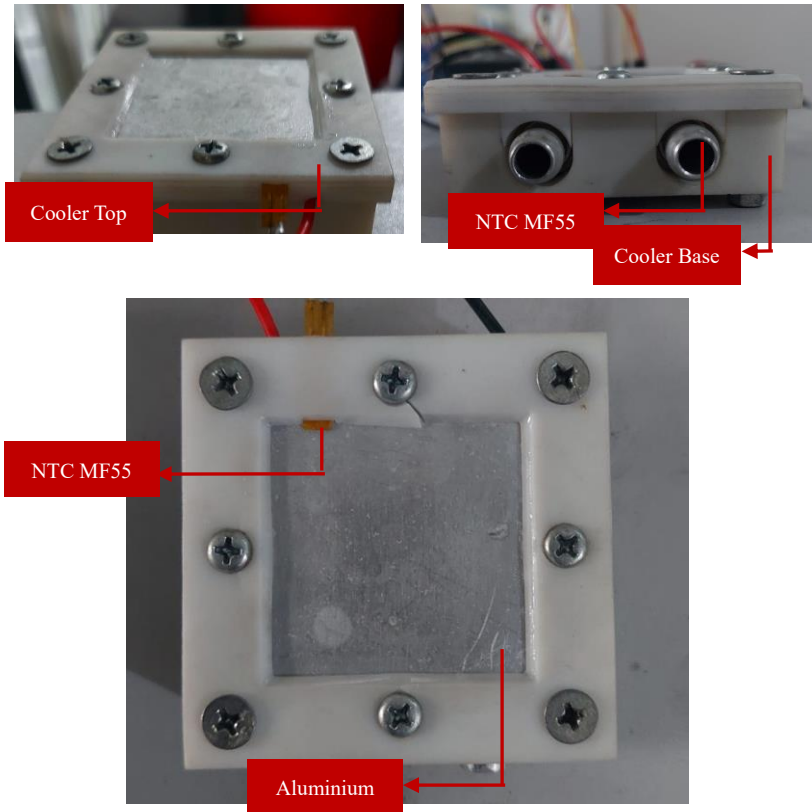
**Gambar 3. 10** Sistem Ketika Diuji

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Perancangan Desain Alat

Hasil perancangan desain alat meliputi hasil perancangan desain *cool bed* dan desain *heat sink*. Pembuatan desain *cool bed* dilakukan menggunakan *software Autodesk Inventor*. Masing-masing komponen mekanik dicetak menggunakan 3D printer *Crealty LD-002R* dengan bahan resin Anycubic. Perancangan *Cool bed* terdiri dari *cool base*, *water cooling block*, sensor NTC MF55, *thermoelectric*, plat aluminium, dan *cool top*. Hasil perancangan dan perakitan *cool bed* ditunjukkan pada gambar 4.1. *Cool base* didesain untuk diletakkan *water cooling block* yang terhubung dengan selang untuk mengalirkan air pada box air es yang digunakan sebagai *heatsink* yang berfungsi untuk membuang panas dari sisi panas thermoelektik. *Water cooling block* diletakkan pertama, di atasnya diletakkan thermoelektrik yang diletakkan tepat di atas *water cooling block* dan dibuat sedemikian menempel dengan *water cooling block* agar proses pemompaan panas bisa terjadi dengan sempurna. Di atas thermoelektrik diletakkan sensor suhu NTC MF55 yang digunakan untuk mengukur besar suhu dari pendingin thermoelektrik. Setelah sensor MF55 diatasnya diletakkan plat berbahan aluminium yang digunakan untuk tempat filament didinginkan oleh thermoelektrik. Ukuran tembaga sama dengan ukuran dari thermoelektrik. Untuk mengunci *cool bed* dipasang *cool top* dengan 8 buah mur dan baut sehingga masing-masing komponen terpasang dengan rapat.



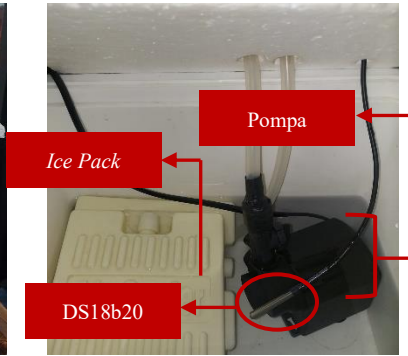
**Gambar 4. 1** Hasil Perancangan *Cool Bed*

Pada *cool bed* digunakan air dan es yang diletakkan pada box yang tertutup yang digunakan sebagai *heat sink*. Campuran air dan es tersebut dialirkan ke dalam *water cooling block* dengan menggunakan pompa Yamano Water Pump SP-200 yang dihubungkan dengan selang, dimana kecepatan dari air dibuat secara konstan. Pada box tersebut diberikan sensor suhu DS18B20 yang digunakan sebagai pendeteksi suhu air dan es, dan dipasang sebuah buzzer yang digunakan sebagai alarm ketika suhu campuran air dan es telah mencapai titik tertentu yang diharuskan untuk mendinginkan air lagi dengan menambahkan es. Buzzer akan menyala sebanyak 5 kali ketika

suhu pada campuran air dan es melewati batas, dan akan berhenti ketika suhu sudah lebih rendah dari ambang batas.



(a) Tampak Depan



(b) Tampak Dalam



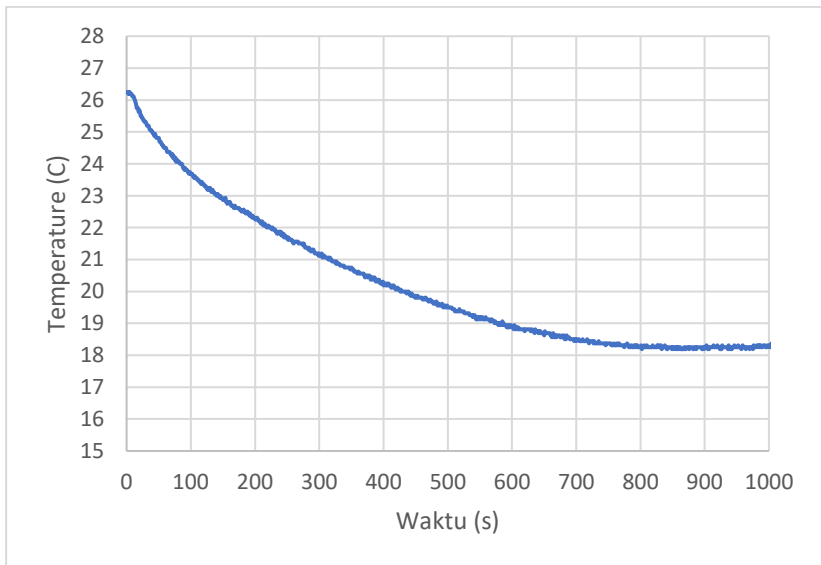
(c) Tampak Atas

**Gambar 4. 2** Hasil Perancangan Sistem *Heat Sink*

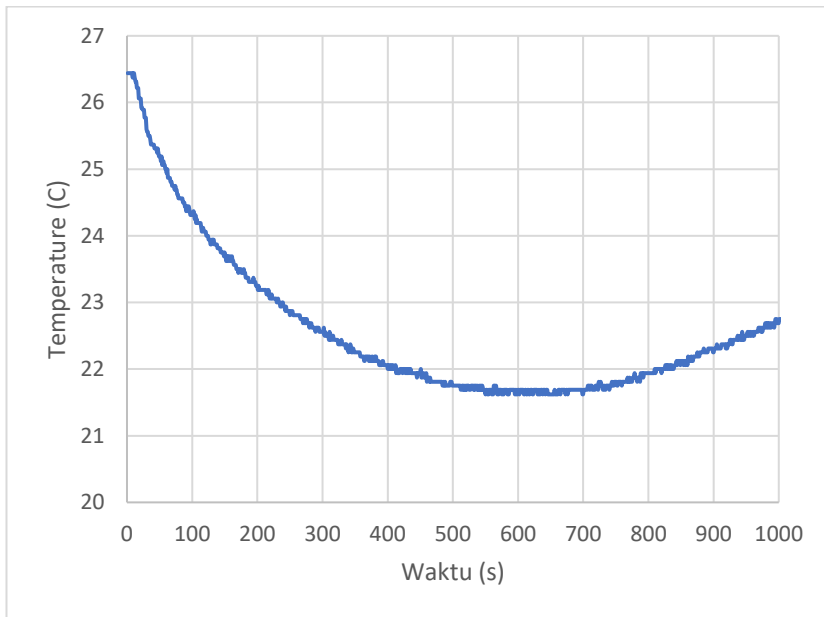
## 4.2 Hasil Pengujian Karakteristik Komponen

### 4.2.1 Pengujian Karakteristik Sirkulasi *Heatsink*

Pengujian karakterisasi sistem sirkulasi heatsink dilakukan untuk mendapatkan data suhu pada campuran air dan es dengan menganalisa perubahan suhu terhadap waktu ketika thermoelektrik dinyalakan dan ketika thermoelektrik dimatikan. Data diambil dengan menggunakan data pengukuran sensor suhu DS18B20 dan dibaca secara realtime dengan arduspreadsheet. Data diambil setiap 1 detik. Data ditampilkan seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4. 3** Grafik Suhu Air *Heat Sink* dengan TEC dimatikan



**Gambar 4. 4** Grafik Suhu Air *Heat Sink* dengan TEC dinyalakan

Dari gambar 4.3 dan 4.4 diketahui bahwa suhu pada *heat sink* mengalami perubahan ketika thermoelektrik dinyalakan dan ketika dimatikan. Dimana ketika thermoelektrik dinyalakan akan terdapat panas dari sisi panas thermoelektrik yang dibuang ke *heat sink* sehingga suhu pada *heatsink* akan mengalami peningkatan dan akan membuat es mencair lebih cepat, dan suhu pada *heat sink* akan tercampur dengan suhu dari sisi panas thermoelektrik.

Selain pengujian suhu pada campuran air dan es, dilakukan pengujian terhadap laju kecepatan air yang mengalir pada *heat sink*. Air mengalir dengan menggunakan selang dengan aktuatoarnya yaitu Yamano Water Pump SP-200. Laju kecepatan air ini dibuat konstan tanpa dilakukan perubahan kecepatan. Untuk mengetahui kecepatan laju air digunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{V}{t}$$



$$v = \frac{Q}{a}$$

*Keterangan:*

$Q = \text{debit air } \left(\frac{l}{s}\right)$

$V = \text{volume air (l)}$

$t = \text{waktu (s)}$

$v = \text{kecepatan air}$

$a = \text{luas penampang}$

Untuk mendapatkan debit air dilakukan dengan mengukur volume air yang terukur setelah 60 detik. Data debit air digunakan untuk mendapatkan kelajuan air. Data ditampilkan seperti pada tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Tabel Data Kecepatan Sirkulasi Air pada *Heat Sink*

t (s)	V (m <sup>3</sup> )	r (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	A (m <sup>2</sup> )	v (m/s)
60	0,0020	0,0040	0,0000	0,0001	0,6701
60	0,0021	0,0040	0,0000	0,0001	0,6910
60	0,0021	0,0040	0,0000	0,0001	0,7066
60	0,0022	0,0040	0,0000	0,0001	0,7298
60	0,0022	0,0040	0,0000	0,0001	0,7215
60	0,0021	0,0040	0,0000	0,0001	0,6967
60	0,0020	0,0040	0,0000	0,0001	0,6734
60	0,0020	0,0040	0,0000	0,0001	0,6731
60	0,0020	0,0040	0,0000	0,0001	0,6635
60	0,0022	0,0040	0,0000	0,0001	0,7298

Dari pengambilan data sebanyak 10 data tersebut didapatkan rata-rata kecepatan air yaitu sebesar 0,696 m/s dengan error sebesar 4%.

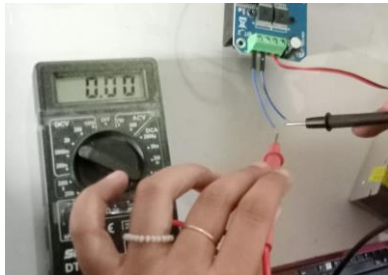
#### 4.2.2 Pengujian Karakteristik Thermoelektik

Pengujian karakteristik thermoelektik dilakukan dengan memberikan variasi nilai PWM ke thermoelektik dengan

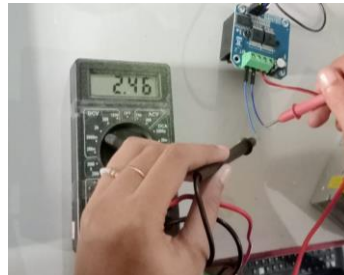
menggunakan driver IBT2-BTS7960. Sebelum dilakukan pemberian PWM ke thermoelektrik, dilakukan pengujian driver IBT2-BTS7960, pengujian dilakukan dengan cara memberikan PWM yang berbeda-beda pada mikrokontroler. nilai output yang dihasilkan akan berbeda-beda untuk setiap nilai PWM yang berkisar 0 sampai 255. Dimana nilai  $V_{out}$  yang dihasilkan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V_{out} = Duty\ Cycle \times V_{in}$$

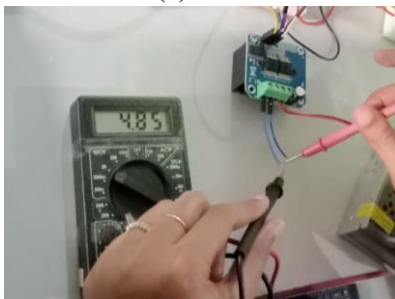
Gambar 4.5 menunjukkan percobaan PWM yang berbeda - beda menghasilkan tegangan yang berbeda-beda. Tegangan yang dihasilkan dari PWM 0 sebesar 0 V. Tegangan yang dihasilkan dari PWM 50 sebesar 2.46 V. Tegangan yang dihasilkan dari PWM 100 adalah 4.85 V. Tegangan yang dihasilkan dari PWM 150 adalah 7.25 V. Tegangan yang dihasilkan dari PWM 255 adalah 12.02 V Nilai tegangan dari PWM yang di uji coba sudah sesuai, sehingga motor driver IBT2-BTS7960 sudah bisa digunakan untuk mengontrol pemanas dan pendignin TEC.



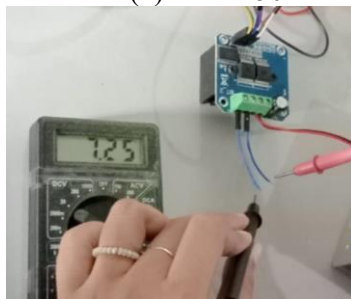
(a) PWM 0



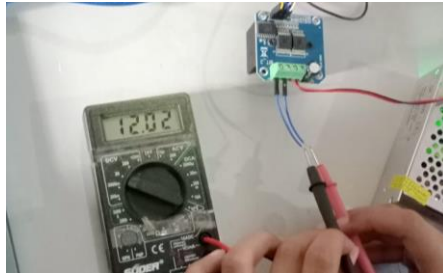
(b) PWM 50



(c) PWM 100



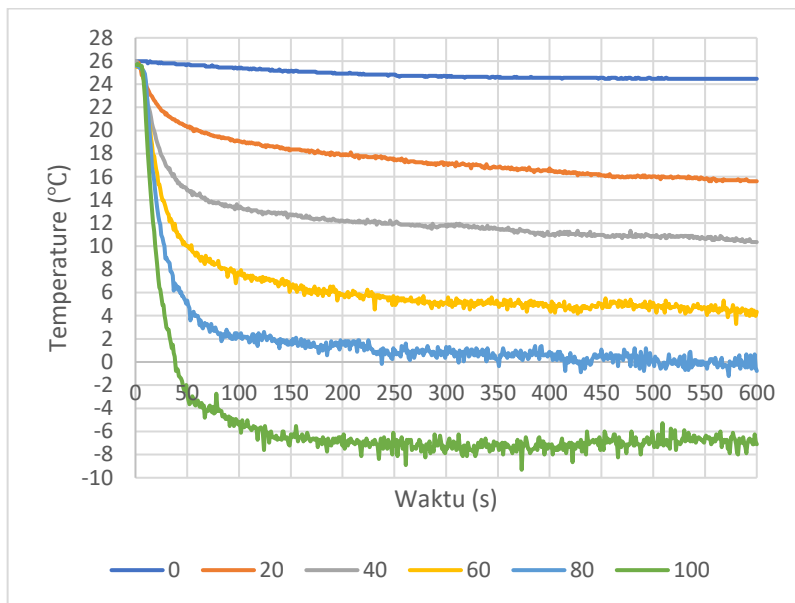
(d) PWM 150



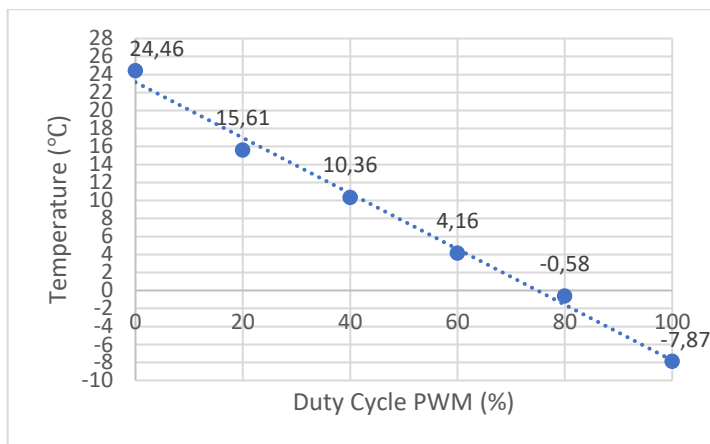
(e) PWM 255

**Gambar 4. 5** Pengujian Nilai Output PWM

Selanjutnya dilakukan pengujian thermoelektrik dengan memberikan variasi nilai PWM pada thermoelektrik. PWM yang diberikan yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Dimana setiap nilai PWM menghasilkan nilai suhu pada *cool bed* yang berbeda. Semakin tinggi nilai PWM maka suhu yang dihasilkan semakin rendah. Nilai dari masing-masing PWM terdapat pada gambar 4.6.



**Gambar 4. 6** Grafik Penurunan Temperature dengan Variasi *Duty Cycle* PWM



**Gambar 4. 7** Temperature Terendah dengan Variasi *Duty Cycle* PWM

Pada gambar 4.7 ditampilkan grafik nilai temperature terendah pada setiap *duty cycle* PWM, dimana nilai terendah dari *duty cycle* PWM 0% yaitu 24.46 °C, nilai terendah dari *duty cycle* PWM 20% yaitu 15.61°C, nilai terendah dari *duty cycle* PWM 40% yaitu 10.36°C, nilai terendah dari *duty cycle* PWM 60% yaitu 4.16 °C, nilai terendah dari *duty cycle* PWM 80% yaitu -0.58 °C, dan nilai terendah dari *duty cycle* PWM 100% yaitu -7.87 °C. Dimana semakin tinggi nilai PWM yang diberikan akan menghasilkan suhu semakin rendah juga. Hal tersebut sesuai dengan rumus dari persamaan pendinginan peltier seperti berikut.

$$Q_c = \alpha_m I T_c - \frac{1}{2} I^2 R_m - K_m (T_h - T_c)$$

Dimana nilai semakin besar PWM akan semakin besar juga tegangan yang diberikan ke dalam Peltier. Berdasarkan hukum Ohm yakni besar tegangan berbanding lurus dengan arus.

$$V = I \times R$$

Sehingga semakin besar nilai tegangan akan membut arus yang mengalir pada thermoelektrik semakin besar juga, yang menyebabkan thermoelektrik semakin dingin.

#### 4.2.3 Pengkalibrasian Sensor Suhu NTC MF55

Pengkalibrasian sensor NTC MF55 100K dilakukan untuk mengkalibrasi hasil pengukuran sensor dengan cara membandingkan nilai hasil pengukuran dari modul sensor PT-100 sebagai kalibratornya dengan menggunakan media yang diukur sama dan waktu yang sama, media yang diukur yaitu es beku yang mempunyai suhu di bawah 0 °C. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada gambar 4.8.

Hasil pembacaan dari sensor suhu NTC MF55 menggunakan pemrogram pada Arduino Uno dan ditampilkan pada serial monitor. Pembacaan sensor NTC MF55 menggunakan rumus sebagai berikut:

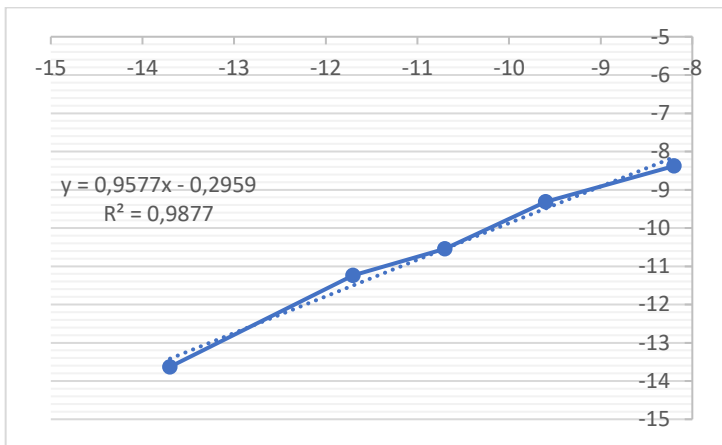
$$\text{Resistansi } R_2 = \frac{R_1 \times \text{Nilai Analog}}{1023 - \text{Nilai Analog}}$$

$$\text{Nilai temperatur}(T_2) = \frac{1}{\frac{1}{T_1} - \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}{B}}$$

Yang dimasukkan ke dalam program yang akan ditampilkan pada serial monitor Arduino Ide.

**Tabel 4. 2** Kalibrasi Sensor NTC MF55 dengan Sensor PT-100

PT-100	NTC
-13,7	-13,63
-11,7	-11,24
-10,7	-10,54
-9,6	-9,31
-8,2	-8,38



**Gambar 4. 8** Grafik Kalibrasi Sensor NTC MF55

Dari data tersebut didapatkan nilai regresi linear sebesar:

$$y = 0.9577x - 0.2959$$

Sehingga didapatkan nilai  $x$  yaitu:

$$x = \frac{y + 0.2959}{0.9577}$$

Nilai  $x$  ini akan dimasukkan ke dalam program, dan nilai  $y$  adalah nilai hasil pengukuran sensor NTC MF55 100K.

### 4.3 Hasil Perancangan *Software*

*Software* pada penelitian ini merupakan pembuatan program yang dibuat untuk ditanamkan pada alat yang berisi perintah-perintah dari pengguna. Dalam membuat sebuah sistem alat yang mempunyai tujuan tertentu akan menggunakan sebuah bahasa pemrograman atau yang sering disebut juga istilah *coding*. Pemrograman bertujuan untuk mengaplikasikan sebuah perintah ke dalam alat agar dapat dilaksanakan.

#### 4.3.1 Program Pengukuran Suhu Air pada *Heat Sink*

**Tabel 4. 3** Program Pengukuran Suhu Air pada *Heat Sink*

1	#include <OneWire.h>
2	#include <DallasTemperature.h>
3	#define ONE_WIRE_BUS 2
4	#define sensor 2
5	OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
6	DallasTemperature Suhu(&oneWire);
7	#define Buzzer 8
8	float t;
9	void setup() {
10	Serial.begin(9600);
11	Suhu.begin();
12	pinMode(Buzzer, OUTPUT);
13	}
14	void loop() {
15	Suhu.requestTemperatures();
16	t = Suhu.getTempCByIndex(0);
17	Serial.print(" ");
18	Serial.println(t);

```

19  if(t > 26) {
20      for(int i = 0; i < 5; i++){
21          alarm();
22      }
23  }
24  else {
25      delay(1000);
26  }
27  }
28  void alarm(){
29      digitalWrite(Buzzer, HIGH);
30      delay(500);
31      digitalWrite(Buzzer, LOW);
32      delay(500);
33  }

```

Pada tabel 4.3 Adalah program yang digunakan pada *heat sink* yakni pengukuran suhu air dengan menggunakan sensor suhu DS18b20. Dari hasil pengukuran suhu tersebut diberikan *buzzer* yang menyala selama 5 detik ketika suhu air kurang dari 26°C. Program diawali dengan inisialisasi library program dan juga inisialisasi pin yang terhubung dengan mikrokontroler, yaitu pin 2 adalah sensor DS18b20 dan pin 8 adalah *buzzer*. Selanjutnya dilakukan pembacaan suhu dari sensor DS18b20, dan diberikan logika *if(t > 26)* yang mengaktifkan *buzzer* ketika suhu air pada *heat sink* lebih dari 26°C.

#### 4.3.2 Program Sistem Kontrol PID pada *Cool Bed*

Program dibuat dengan menggunakan aplikasi Arduino IDE dengan memanfaatkan serial monitor sebagai penampil data hasil pengukuran.



**Tabel 4. 4** Inisialisasi Library Program

1	#include <Wire.h>
2	#define ntc_pin A0
3	#define power_pin 2
4	#define nominal_resistance 100000
5	#define nominal_temperature 25
6	#define samplingrate 5
7	#define beta 3950
8	#define Rref 100000
9	#define pwm1 5
10	#define pwm2 6

Berdasarkan tabel 4.4 pada baris awal pin diinisialisasikan terkait apa saja komponen yang digunakan dan terhubung pada mikrokontroler serta mendeklarasikan pin-pin dari Arduino Uno. Dapat dilihat deklarasi pin menggunakan #define untuk menginisialisasi masing-masing pin pada Arduino Uno berupa nilai resistansi, beta, Rref yang digunakan untuk sensor suhu NTC MF55 dan driver motor IBT2-BTS7960, pin PWM driver motor IBT2-BTS7960, serta pin NTC MF55.

**Tabel 4. 5** Inisialisasi Variabel

1	int sample = 0;
2	float x=0;
3	float temperature_NTC = 0.0;
4	float setpoint = 0;
5	float PID_error = 0;
6	float error_sebelumnya = 0;
7	float elapsedTime, Time, timePrev;
8	int PID_value = 0;
9	//PID
10	int kp = 300; int ki = 0; int kd = 0; int PID_p = 0; int PID_i = 0; int PID_d = 0;

Tabel 4.5 menunjukkan variabel-variabel yang digunakan selama hardware mengoperasikan mikrokontroler. Variabel-variabel

tersebut diinisialisasi dengan value awal 0 karena nantinya akan diisi suatu nilai integer dan float. Tipe data yang digunakan untuk menginisialisasi variabel cukup banyak tergantung kebutuhan, namun yang digunakan pada program ini adalah tipe integer dan float. Tipe data integer sendiri sudah cukup untuk menampung banyak data yang dihasilkan dari nilai yang nantinya akan mengisi variabel tersebut.

**Tabel 4. 6** Program Membaca Suhu Sensor NTC MF55

1	void loop() {
2	analogWrite(pwm2, 0);
3	delay(100);
4	uint8_t i;
5	float average;
6	sample = 0;
7	digitalWrite(power_pin, HIGH);
8	for (i = 0; i < samplingrate; i++) {
9	sample += analogRead(ntc_pin);
10	delay(10);
11	}
12	digitalWrite(power_pin, LOW);
13	average = 0;
14	average = sample / samplingrate;
15	average = 1023 / average - 1;
16	average = Rref / average;
17	float temperature;
18	temperature = average / nominal_resistance;
19	temperature = log(temperature);
20	temperature /= beta;
21	temperature += 1.0 / (nominal_temperature + 273.15);
22	temperature = 1.0 / temperature;
23	temperature -= 273.15;
24	temperature_NTC = temperature;
25	x=(temperature_NTC + 0.2595)/0.9577);

Tabel 4.6 menunjukkan program untuk pembacaan sensor NTC MF55, dimana sensor NTC MF55 adalah sensor suhu resistif yang jenis elemen resistif variabel khusus yang mengubah resistansi

fisiknya ketika terkena perubahan suhu. Sehingga pada program ini dilakukan konversi nilai resistansi hasil pengukuran sensor NTC MF55 ke dalam nilai celcius.

$$\text{Resistansi } R_2 = \frac{R_1 \times \text{Nilai Analog}}{1023 - \text{Nilai Analog}}$$

$$\text{Nilai temperature } (T_2) = \frac{1}{\frac{1}{T_1} - \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)}{B}}$$

Nilai dari dari regresi linear dari kalibrasi sensor dimasukkan ke dalam program, agar hasil pengukuran dari sensor NTC MF55 benar.

**Tabel 4. 7** Program Kontrol Suhu

1	PID_error = setpoint - x;
2	PID_p = kp * PID_error;
3	if(-3 < PID_error < 3)
4	{
5	PID_i = PID_i + (ki * PID_error);
6	}
7	timePrev = Time;
8	Time = millis();
9	elapsedTime = (Time - timePrev) / 1000;
10	PID_d = kd * ((PID_error - error_sebelumnya) / elapsedTime);
11	PID_value = PID_p + PID_i + PID_d;
12	if(PID_value < 0)
13	{ PID_value = 0; }
14	if(PID_value > 255)
15	{ PID_value = 255; }
16	analogWrite(pwm1, 255 - PID_value);
17	delay(900);
18	Serial.println(x);
19	}

Tabel 4.7 menunjukkan program kontrol suhu menggunakan PID kontrol. Program tersebut berfungsi sebagai kontrol suhu dari

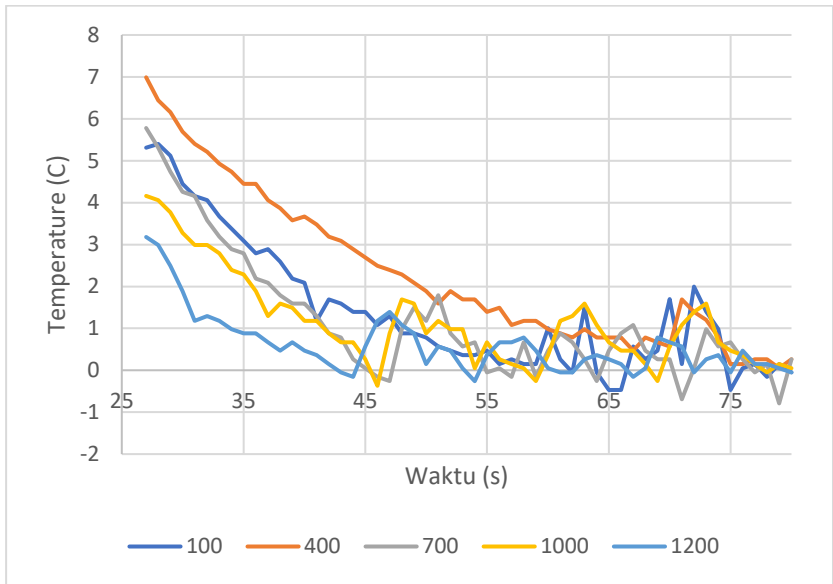
TEC dengan menggunakan driver IBT2-BTS7960. Dimana nilai hasil pembacaan dari sensor suhu NTC MF55 akan digunakan sebagai *feedback* dan digunakan untuk mengetahui error, yaitu selisih antara hasil pembacaan sensor dengan *set point* yang telah ditentukan. Selanjutnya dengan nilai error yang didapatkan dimasukkan ke dalam PID untuk sebagai pengontrol sistem agar sistem tetap di *set point* yang telah ditentukan. Nilai dari P yaitu hasil kali dari error dengan  $K_p$ , sedangkan I yaitu hasil kali dari penjumlahan error dikalikan dengan  $K_i$ , serta D didapatkan dengan persamaan hasil kali dari selisih error sekarang dengan error sebelumnya dikali dengan  $K_d$ . Hasil dari PID digunakan untuk menentukan seberapa besar PWM yang akan diberikan ke dalam sistem dengan rentang 0.

#### 4.4 Pengujian dan Analisa Sistem

Pada pengujian sistem yaitu dengan menggunakan seluruh perangkat yaitu termoelektrik, sensor suhu, dan juga *heat sink* yang digunakan sebagai pembuang panas dari sisi panas termoelektrik. Pengujian dan analisa sistem digunakan untuk mencari nilai dari  $k_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  yang digunakan dalam sistem kontrol PID pada sistem *cool bed*.

##### 4.4.1 Pengujian Nilai Konstanta Proporsional ( $K_p$ )

Pengujian nilai konstanta proporsional ( $k_p$ ) ini dilakukan dengan meletakkan sensor pada lempengan aluminium yang digunakan sebagai alas dalam *cool bed* dan diberikan tegangan sebesar 12 V serta dinyalakannya sistem *heatsink* dengan menggunakan 4 liter air dan 2 balok es. Pada sistem diberikan variasi nilai  $k_p$  dari nilai yang rendah sampai dengan nilai yang tinggi dengan nilai *set point* yang seragam yakni 0°C. Data hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.9.



**Gambar 4. 9** Grafik Respon Sistem Terhadap Variasi Nilai  $K_p$

Nilai konstanta proporsional (P) dalam PID digunakan untuk mendekatkan ke *set point* yang telah ditentukan. Kontrol Proportional memiliki output yang proporsional terhadap sinyal errornya. Sinyal error sendiri adalah selisih dari sinyal yang diinginkan dengan sinyal yang sebenar-benarnya didapatkan, sinyal ini juga disebut sebagai sinyal kesalahan. Secara matematis kontrol proposional dituliskan seperti di bawah ini.

$$u(t) = K_p \cdot e(t)$$

$$e = \text{setpoint} - \text{suhu sekarang}$$

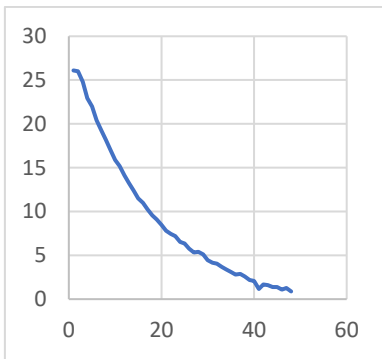
Sehingga apabila dimasukkan ke dalam sebuah plant sistem dituliskan seperti di bawah ini.

$$\text{PWM} = \text{PWM}_{\text{sebelumnya}} + (K_p \times \text{Error})$$

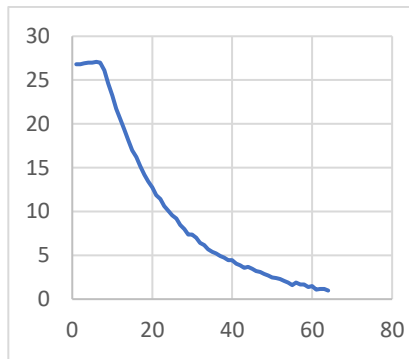
$$u_t = u_{t-1} + k_p \cdot e$$

Sehingga nilai dari seberapa besar PWM (*effort*) pada sistem ini dipengaruhi oleh error dikali dengan  $K_p$ , sehingga output yang dihasilkan akan lebih stabil. Sehingga semakin tinggi nilai  $K_p$  akan menghasilkan *rise rime* dan respon semakin cepat, akan tetapi apabila nilai  $K_p$  yang diberikan terlalu besar maka akan membuat hasil yang semakin tidak stabil (osilasi).

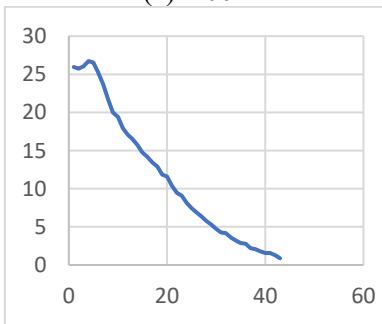
Dari data yang didapatkan yang terlihat pada gambar 4.9 nilai  $k_p$  yang kecil akan memperlambat *rest time* respon naik dan nilai  $k_p$  yang besar akan mempercepat *rest time* respon naik. Dari hasil data yang dihasilkan pada gambar 4.10 nilai  $k_p$  yang paling tepat digunakan pada sistem yaitu  $k_p = 1200$ . Dimana hal tersebut ditunjukkan pada gambar di bawah ini, dimana nilai variasi  $K_p$  1200 mencapai *set point* yang paling cepat dibandingkan dengan nilai variasi  $K_p$  yang lainnya.



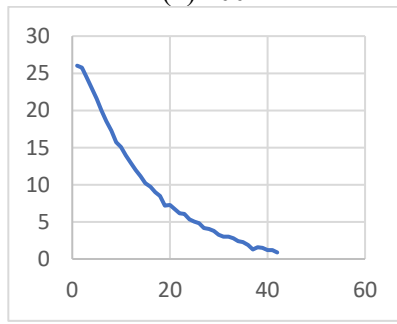
(a) 100



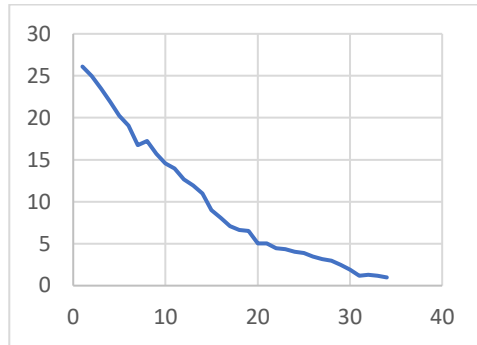
(b) 400



(c) 700



(d) 1000

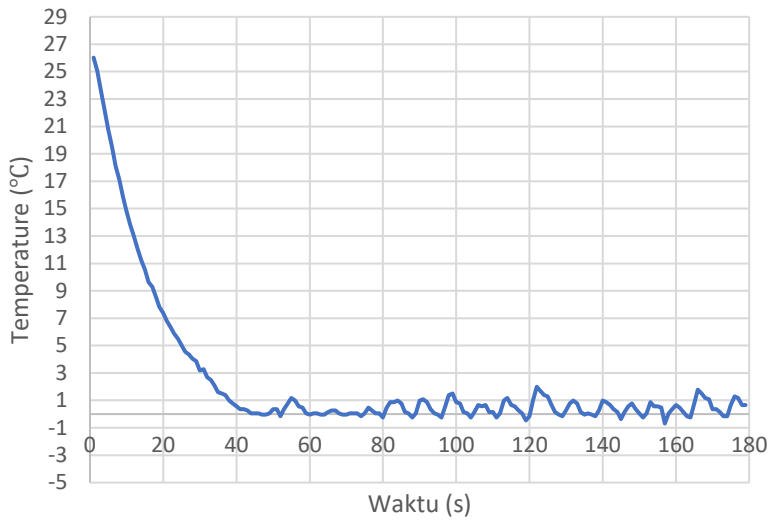


(e) 1200

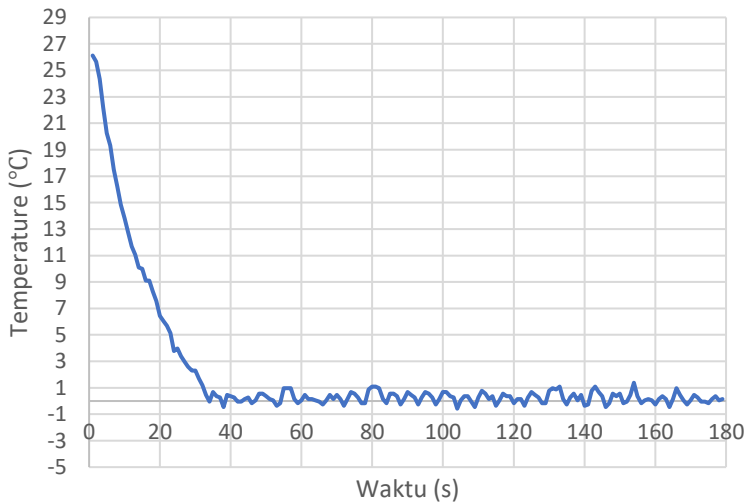
**Gambar 4. 10** Perbandingan *Rest Time* Sistem dengan Variasi Nilai  $K_p$

#### 4.4.2 Pengujian Nilai Konstanta Proporsional ( $K_p$ ) dan Integral ( $K_i$ )

Pengujian nilai konstanta instegral ( $K_i$ ) ini dilakukan dengan diberikan variasi nilai  $k_i$  dari nilai yang rendah sampai dengan nilai yang tinggi dengan nilai *set point* yang seragam yakni  $0^{\circ}\text{C}$ . Pengambilan data  $K_i$  ini diambil dengan menambahkan nilai  $K_p$  sebesar 1200. Data dari  $K_i$  dicari hasil output yang stabil dan *steady state* yang berosilasi paling mendekati *set point*. Data hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.11 – 4.15.

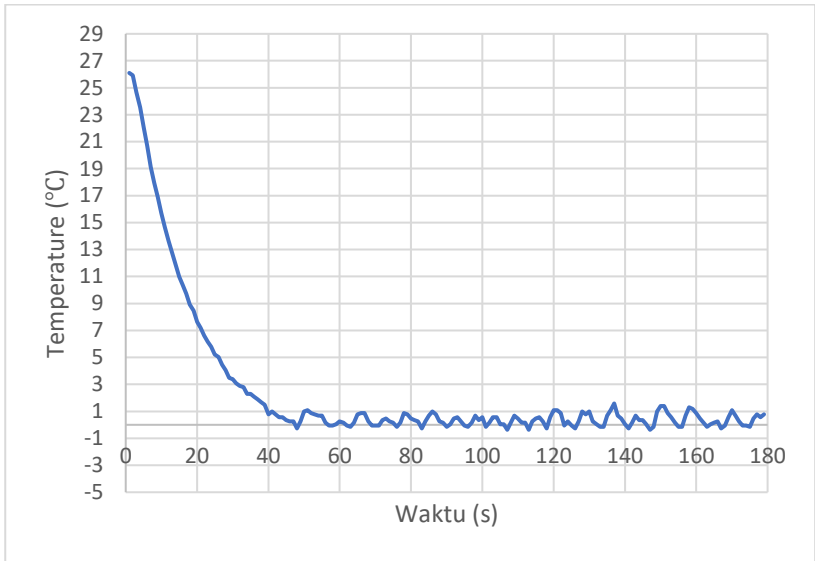


**Gambar 4. 11** Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_i$  0.1

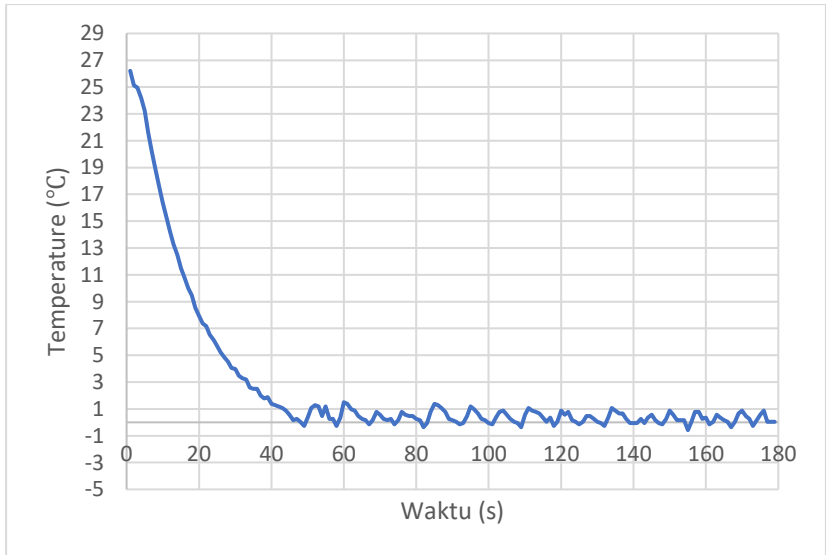


**Gambar 4. 12** Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_i$  0.2

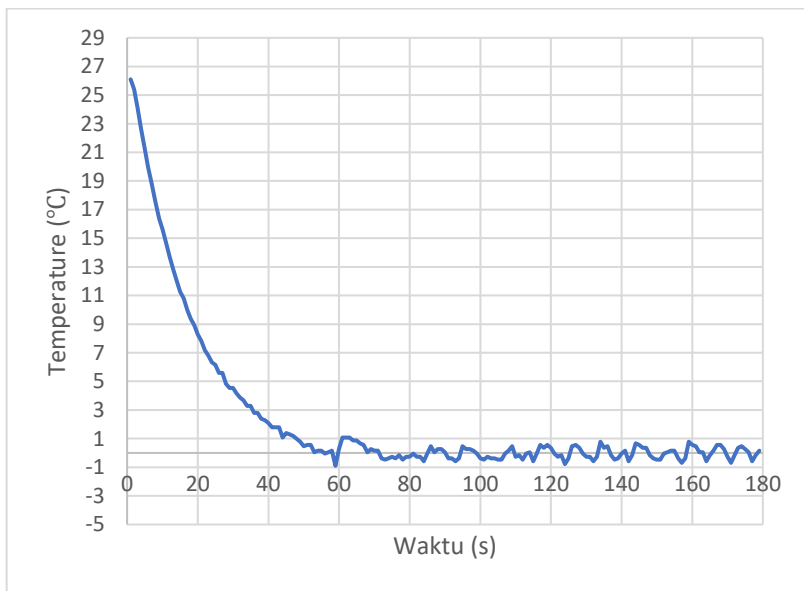




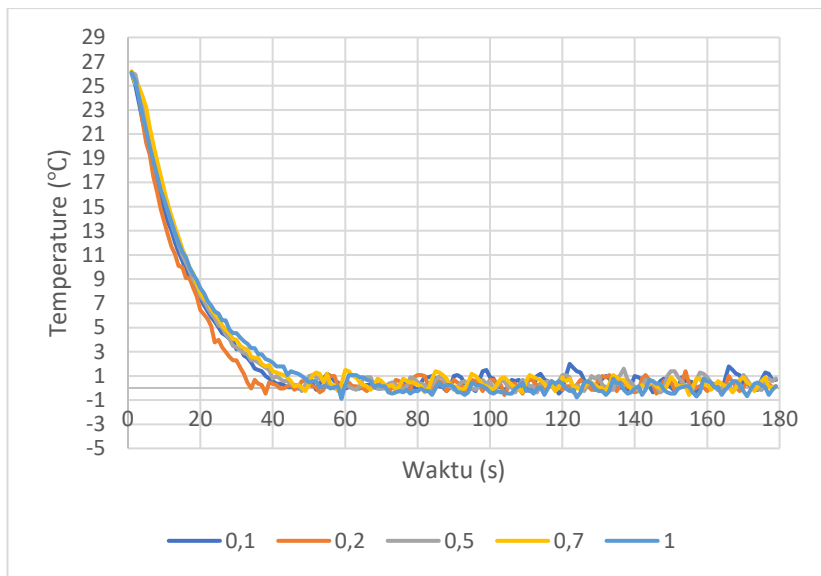
**Gambar 4. 13** Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_i$  0.5



**Gambar 4. 14** Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_i$  0.7



**Gambar 4. 15** Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_i$  1



**Gambar 4. 16** Grafik Respon Sistem Terhadap Variasi Nilai  $K_i$

Penambahan konstanta proporsional ( $K_p$ ) dan konstanta integral ( $K_i$ ) ke dalam sistem, dimana  $K_p$  akan ditambah dengan  $K_i$  untuk dimasukkan ke dalam plant sistem. Dimana diketahui  $K_p$  secara matematis yaitu sebagai berikut.

$$P = K_p \cdot e(t)$$

Sedangkan  $K_i$  secara matematis ditulis dalam persamaan matematika seperti di bawah ini.

$$I = K_i \int_0^t e(t) dt$$

Agar lebih mudah dalam pemrograman maka integral error dari 0 sampai t tersebut diganti dengan akumulasi error perwaktu.

$$\sum_{t=0}^t e(t)$$

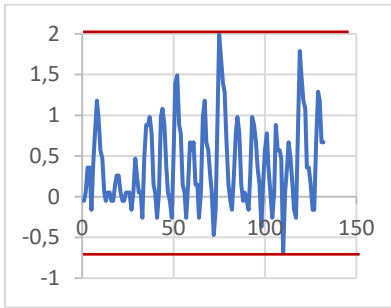
Sehingga apabila P dan I dimasukkan ke dalam sistem maka akan dilakukan penambahan antara P dengan I yang dituliskan secara matematis seperti di bawah ini.

$$PWM = PWM_{sebelum} + (K_p \times Error) + (K_i \times \sum Error)$$

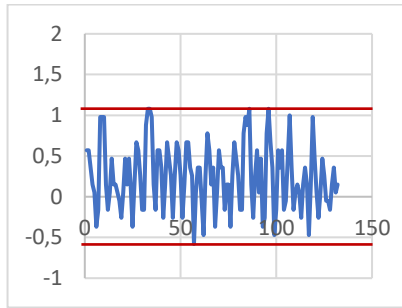
$$u_t = u_{t-1} + K_p \cdot e + K_i \cdot \sum e$$

Penambahan I pada sistem akan dapat mengurangi *steady state error* dan mempercepat *rise time* sehingga membuat sistem akan semakin bagus karena berosilasi di *set point* yang telah ditentukan, akan tetapi dapat menimbulkan *overshoot* dan memperlambat respon.

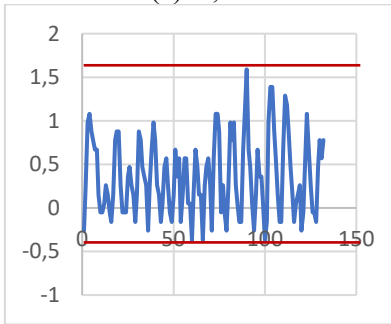
Pada data yang telah didapatkan pada 4.11 – 4.15 diketahui bahwa data yang paling baik untuk digunakan dalam sistem *cool bed* ini yaitu pada gambar 4.17 dengan nilai  $K_p$  sebesar 1200 dan  $K_i$  sebesar 0,2. Dimana dipilih nilai  $K_i$  sebesar 0,2 sebagai nilai  $K_i$  terbaik dikarenakan mempunyai osilasi yang paling bagus, yakni berosilasi di nilai 0 dimana nilai 0 adalah nilai *set point*. Perbandingan osilasi setiap variasi  $K_i$  ditampilkan pada gambar di bawah ini.



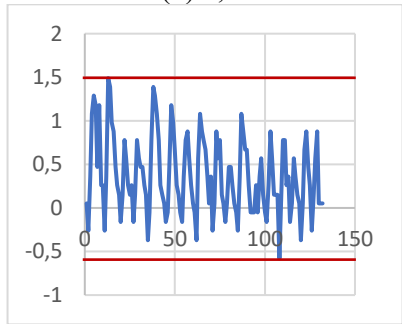
(a) 0,1



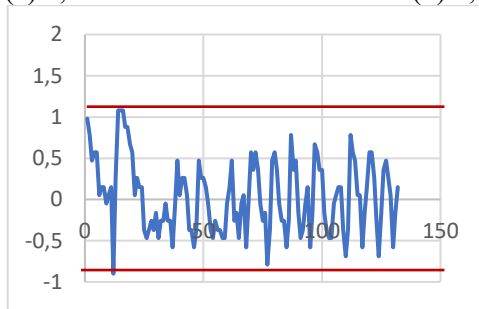
(b) 0,2



(c) 0,5



(d) 0,7

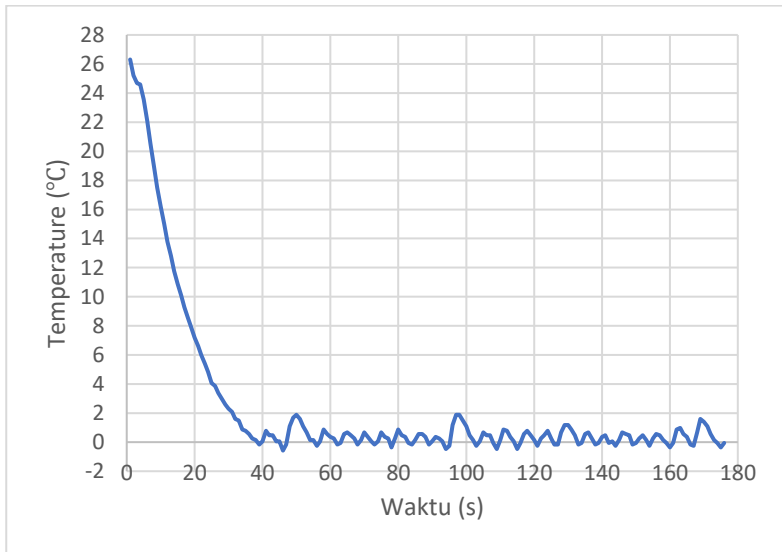


(e) 1

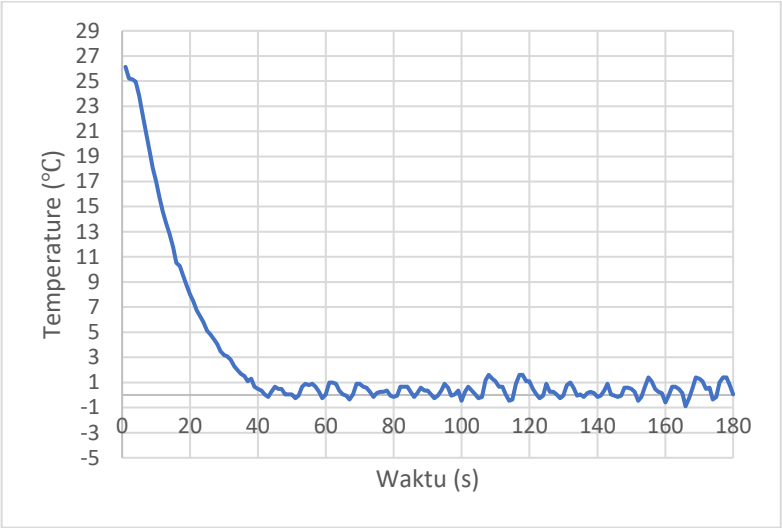
**Gambar 4. 17** Perbandingan Osilasi Sistem pada Nilai  $K_i$  yang Berbeda

#### 4.4.3 Pengujian Nilai Konstanta Proporsional ( $K_p$ ) Integral ( $K_i$ ) dan Derivative ( $K_d$ )

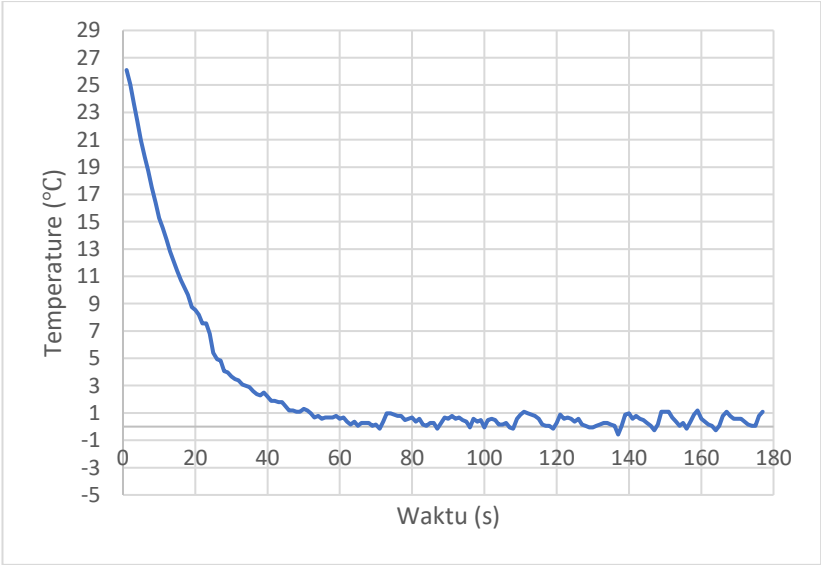
Pengujian nilai konstanta integral ( $K_d$ ) ini dilakukan dengan diberikan variasi nilai  $k_d$  dari nilai yang rendah sampai dengan nilai yang tinggi dengan nilai *set point* yang seragam yakni  $0^\circ\text{C}$ . Pengambilan data  $K_d$  ini diambil dengan menambahkan nilai  $K_p$  sebesar 1200 dan nilai  $K_i$  sebesar 0,2. Data dari  $K_d$  dicari hasil output yang stabil dan *steady state* yang berosilasi paling mendekati *set point*. Data hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.18 – 4.22.



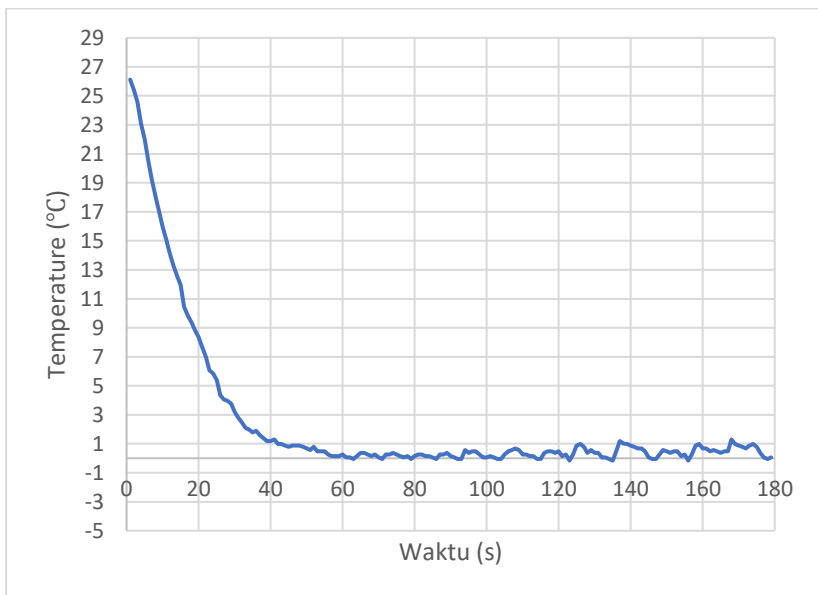
**Gambar 4. 18** Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_d$  0.5



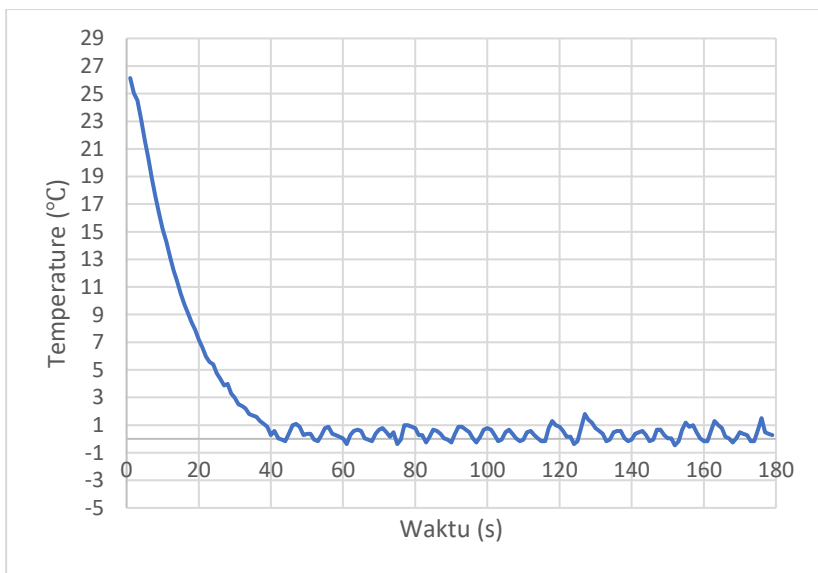
**Gambar 4. 19** Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_d$  1



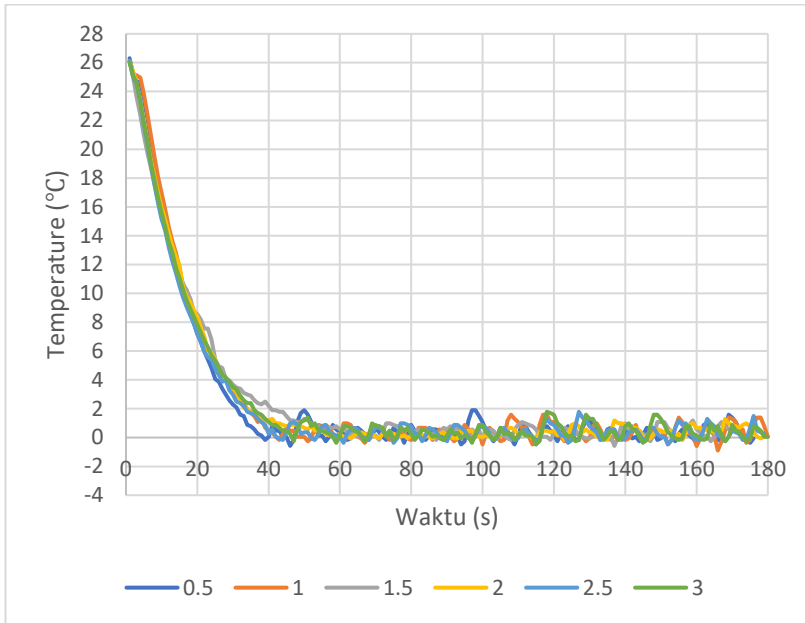
**Gambar 4. 20** Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_d$  1.5



**Gambar 4. 21** Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_d$  2



**Gambar 4. 22** Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_d$  2.5



**Gambar 4. 23** Grafik Respon Sistem Terhadap Variasi Nilai  $K_d$

Penambahan konstanta  $K_d$  pada sistem yang telah diberikan konstanta  $K_p$  dan  $K_i$  agar sistem yang semula terdapat *over shoot* yang tinggi yang dikarenakan penambahan  $K_i$  akan semakin kecil *over shoot* nya dan dapat diantisipasi. Hal tersebut dikarenakan dengan ditambahkannya  $K_d$  dapat memprediksi *error* setelahnya. Dimana diketahui  $D$  didapatkan dari hasil kali  $K_d$  dengan selisih error dengan waktu sebelumnya yang dituliskan secara matematis seperti di bawah ini.

$$D = K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

$$\Delta e(t) = e - e(t - 1)$$

Sehingga pada sistem ini digunakan PID sebagai sistem kontrolnya maka secara matematis dapat dituliskan seperti di bawah ini.

$$PWM = PWM_{sebelumnya} + (K_p \times Error) + (K_i \times \sum Error) + (K_d \times \Delta Error)$$



Penambahan D pada sistem ini akan membuat *rise time* sistem ini akan sedikit lambat, tetapi dapat mempercepat stabilisasi respon saat terjadi osilasi, serta dapat mengantisi terjadinya *overshoot* yang dikarenakan oleh penambahan konstanta proporsional. Sehingga dari data yang telah didapat pada 4.18 – 4.22 nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  yang paling tepat untuk sistem *cool bed* ini yaitu pada gambar 4.21 yakni dengan nilai  $K_p$  sebesar 1200,  $K_i$  sebesar 0,2, dan  $K_d$  sebesar 2.

#### 4.4.4 Pengujian *Cool Bed* dengan Pemberian *Filament* Gelatin

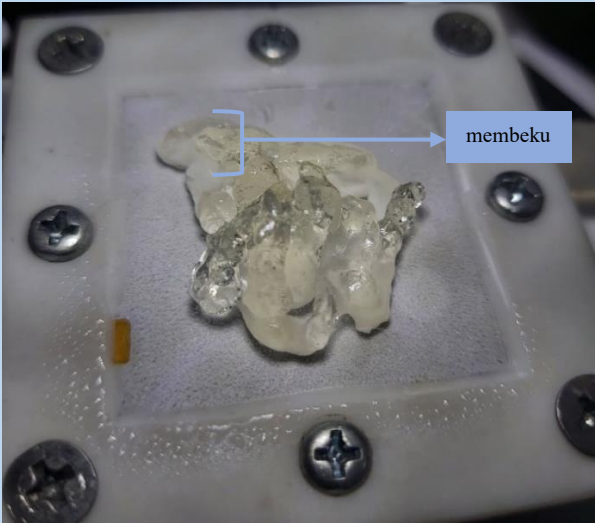

Pengujian *cool bed* dilakukan untuk memastikan *filament* berupa gelatin yang dapat didinginkan oleh *cool bed* dan untuk memastikan bahwa kontrol suhu pada *cool bed* dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan, yaitu suhu pada *cool bed* stabil pada suhu 0°C. Pengujian *cool bed* ini dilakukan dengan memberikan variasi *filament* berupa gelatin yang dilarutkan dalam aquades dengan variasi perbandingan gelatin dengan aquades yakni seperti berikut.

**Tabel 4. 8** Variasi Perbandingan Gelatin dengan Aquades

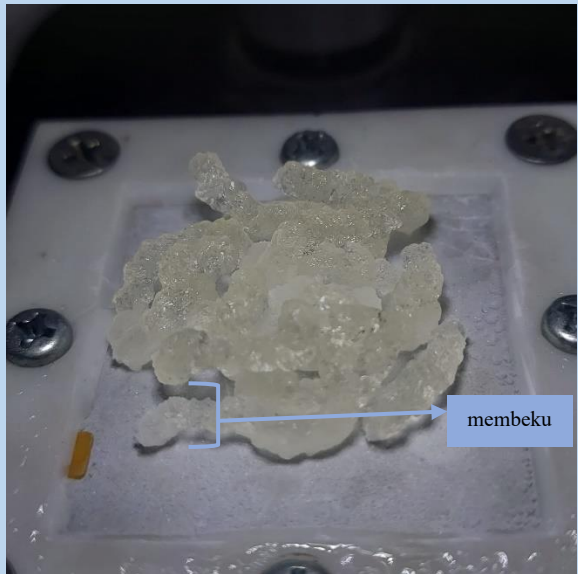
Percobaan	Gelatin	Aquades
1	1 gram	5 ml
2	2 gram	5 ml
3	3 gram	5 ml

Pada setiap percobaan dilakukan pengambilan data dengan pendinginan dengan menggunakan *cool bed* dan tanpa pendinginan dengan hasil sebagai berikut.

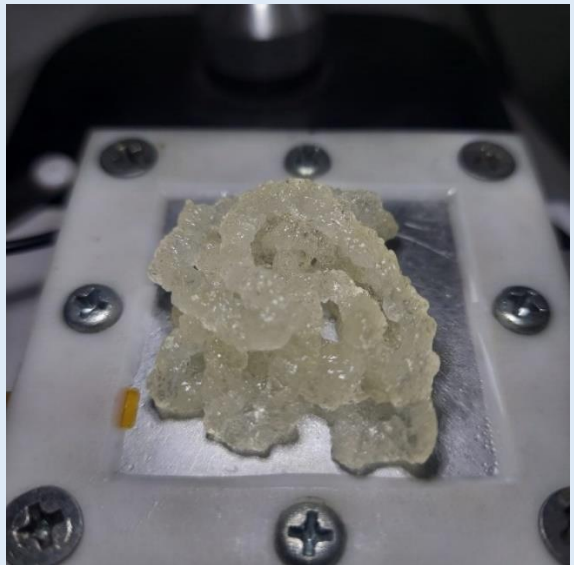
**Tabel 4. 9** Hasil Respon Sistem Terhadap Variasi Percobaan

Percobaan	Respon
1 gram:5 ml dengan pendinginan	
1 gram:5 ml tanpa pendinginan	

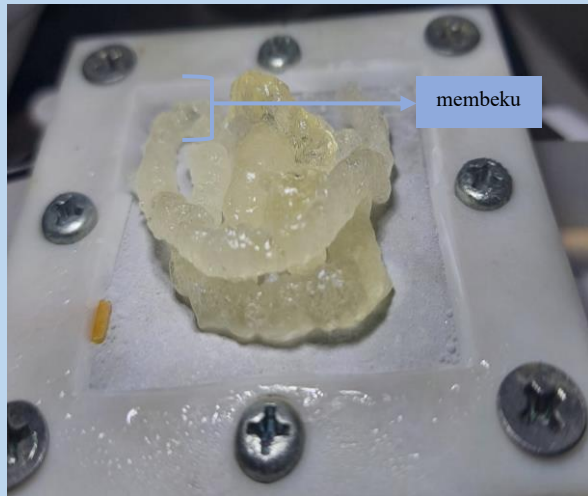
**2 gram:5 ml  
dengan  
pendinginan**



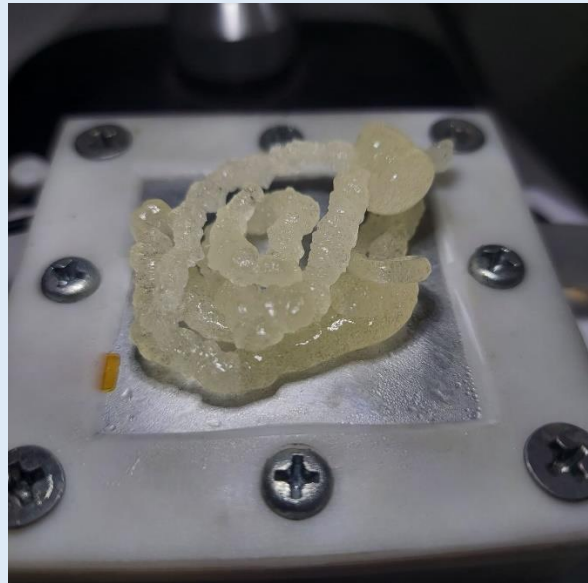
**2 gram:5 ml  
tanpa  
pendinginan**



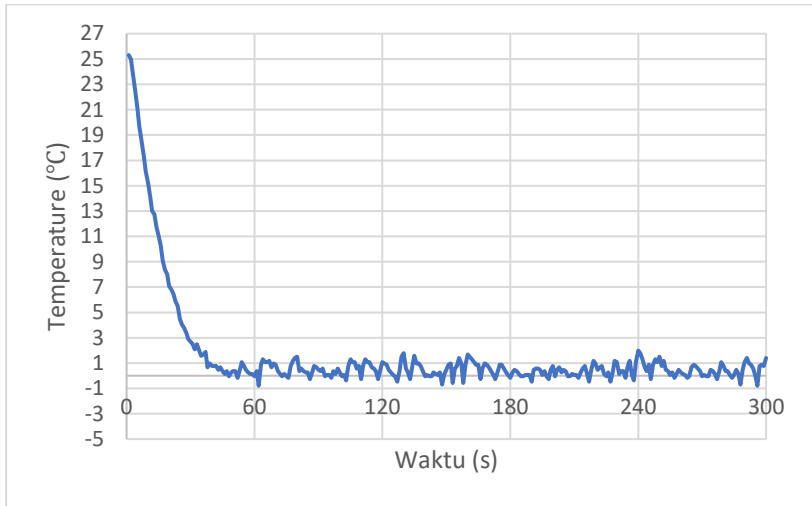
**3 gram:5 ml  
dengan  
pendinginan**



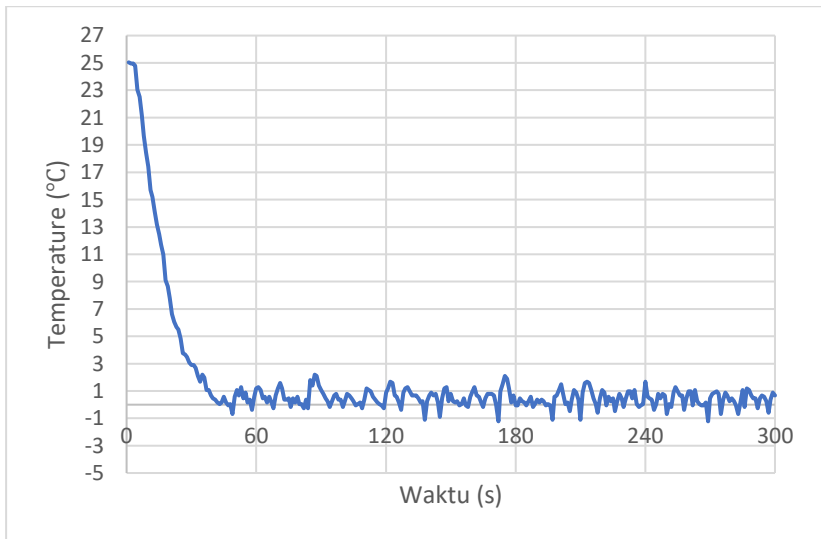
**3 gram:5 ml  
tanpa  
pendinginan**



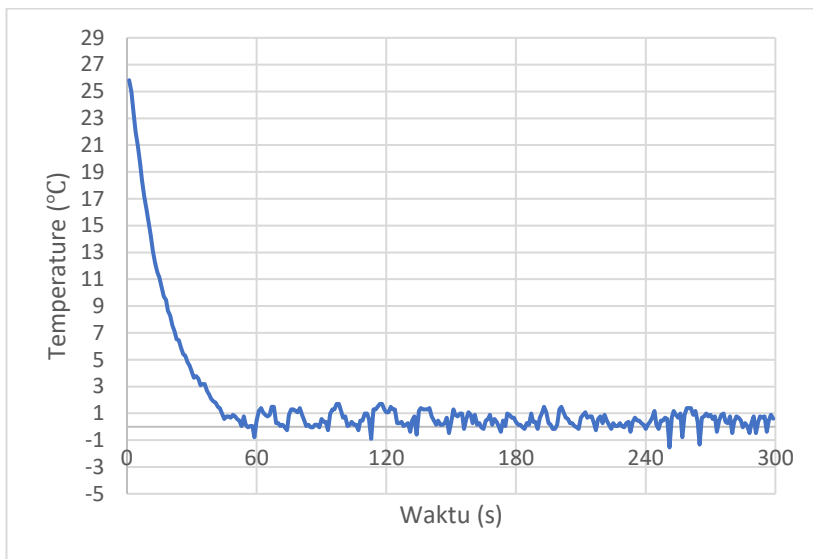
Hasil respons sistem pendingin pada *cool bed* dengan diberikan beban berupa *filament* yang bervariasi ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



**Gambar 4. 24** Respon Sistem dengan *Filament* Gelatin 1 gram



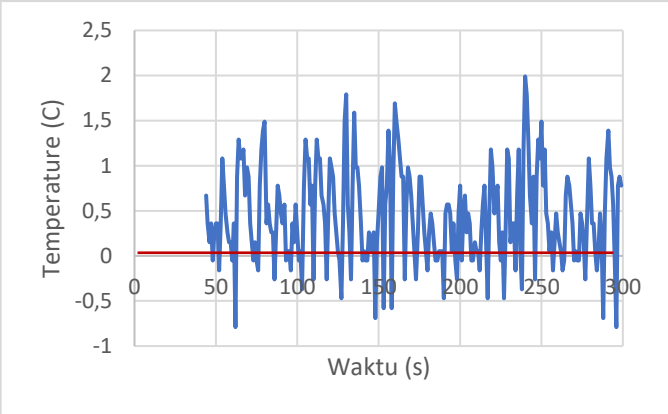
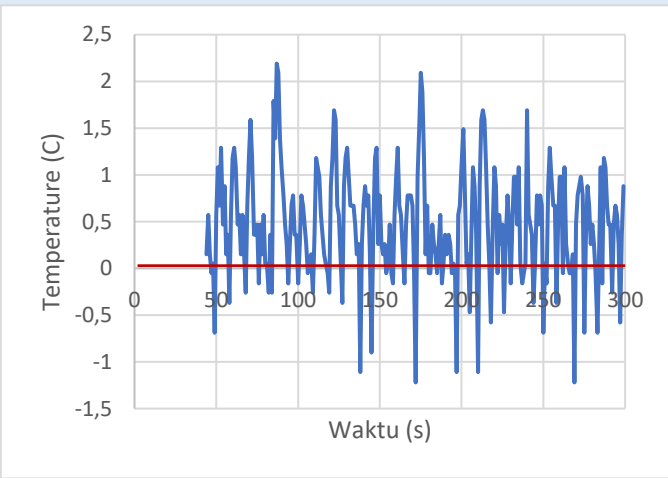
**Gambar 4. 25** Respon Sistem dengan *Filament* Ge latin 2 Gram



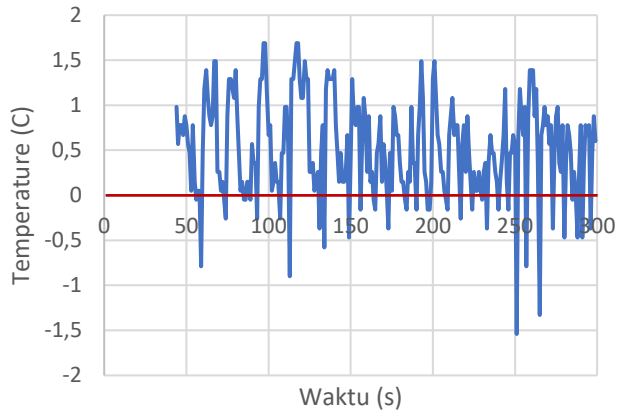
**Gambar 4. 26** Respon Sistem dengan *Filament* Gelatin 3 gram

Pada hasil respons suhu tersebut didapatkan bahwa respons sistem kontrol bekerja sesuai dengan semestinya, yakni sistem berada pada *set point* yang ditentukan yakni 0°C. Ketika diberikan beban berupa *filament* gelatin suhu sistem meningkat 1 – 2°C akan tetapi suhu Kembali ke *set point* kembali pada suhu 0°C ditunjukkan pada grafik osilasi sistem pada grafik di bawah ini.

Tabel 4. 10 Respon Sistem Kontrol pada Variasi Percobaan

Para meter	Respons Sistem
1 gram: 5 ml	
2 gram: 5 ml	

**3**  
**gram:**  
**5 ml**





## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa Analisa dan data. Dari hasil analisa dan data tersebut dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem pendingin telah berhasil dibuat dengan menggunakan thermoelektrik sebagai pendinginnya dan *heat sink* yang terdiri dari air dan es untuk membuang panas dari sisi panas thermoelektrik.
2. Sistem kontrol PID untuk mengatur *duty cycle* PWM bekerja dengan *set point* 0°C dengan konstanta  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  pada sistem kontrol PID yang paling stabil yaitu sebesar  $K_p = 1200$ ,  $K_i = 0.2$ , dan  $K_d = 2$ .
3. Uji coba dengan beban berupa gelatin dengan *set point* 0°C dan parameter di atas menunjukkan kestabilan sistem yang cukup baik.

### 5.2 Saran

Pada penelitian mengenai pendinginan *filament* ataupun *scaffold* biokomposit Hap selanjutnya disarankan untuk:

1. Melakukan pendekatan metode matematis dalam mencari konstanta  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  untuk sistem kontrol PID.
2. Mengganti campuran air dan es yang digunakan pada *heat sink* dengan bahan yang lebih efektif untuk pendinginan thermoelektrik agar sistem *cool bed* dapat lebih efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- A lyssa J. P asquale, P. h . D. (n.d.). *Microcontrollers*. College of DuPage.
- Ali, M., Nurohma, H., Ajiatmo, D., & Haikal, M. A. (n.d.). *Desain PID Controller untuk Temperatur Heating Furnace Menggunakan Metode PSO*.  
<http://repository.undar.ac.id/id/eprint/5/1/BUKU> DESAIN PID.pdf
- Andriyansyah, D., Sriyanto, & Jamaldi, A. (2021). Perancangan Dan Pembuatan Mesin 3D Printer Tipe Cantilever. *Abdi Masya*, 1(2), 108–114. <https://doi.org/10.52561/abma.v1i2.139>
- Bandyopadhyay, A., Bose, S., & Das, S. (2015). 3D printing of biomaterials. *MRS Bulletin*, 40(2), 108–114. <https://doi.org/10.1557/mrs.2015.3>
- Battery, L. (n.d.). *MF55 Series*. 1–2.
- Bücking, T. M., Hill, E. R., Robertson, J. L., Maneas, E., Plumb, A. A., & Nikitichev, D. I. (2017). From medical imaging data to 3D printed anatomical models. *PLoS ONE*, 12(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178540>
- Current, H., & Half, P. N. (n.d.). *Automotive Power BTS7960*.
- Dharmawan, H. A. (2017). *Mikrokontroler: Konsep Dasar dan Praktis*. UB: Press.
- Gabert, A., Borg, J., & Johansson, J. (2006). Temperature stabilization of electronics module. *IMAPS Nordic Annual Conference 2006*, 97–103.
- Handy Wicaksono. (2004). Analisa Performansi dan Robustness Beberapa Metode Tuning Kontroler PID pada Motor DC. *Jurnal Teknik Elektro*, 4(2), 70–78. <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/elk/article/view/16191>
- Horvarth, J. (2014). Mastering 3D Printing. In *http://Www.Globalview.Gr* (Vol. 578). Apress.

<http://www.globalview.gr/2016/06/30/62949/>

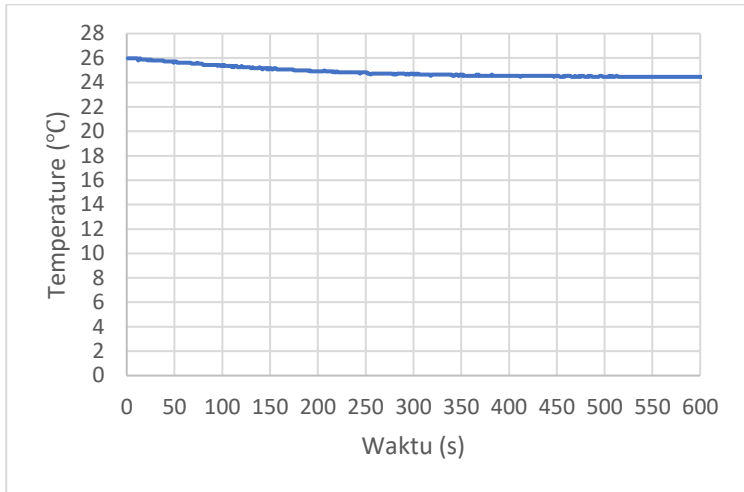
- Jasveer, S., & Jianbin, X. (2018). Comparison of Different Types of 3D Printing Technologies. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 8(4), 1–9. <https://doi.org/10.29322/ijsrp.8.4.2018.p7602>
- Leni, A., & Hariyani, N. A. (2021). HIDROKSIAPATIT SEBAGAI SALAH SATU BAHAN YANG PALING UMUM DIGUNAKAN PADA CANGKOK TULANG: TINJAUAN PUSTAKA. *B-Dent: Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Baiturrahmah*, 8(2). <https://doi.org/10.33854/jbd.v8i2.894>
- Manual, P. R. (2022). Arduino UNO R3 Features. <https://docs.arduino.cc>, 1–13. <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
- Manufacture, T. (2016). *Arduino Uno Datasheet*. Farnel. <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>
- Maysha, I., Trisno, B., & Hasbullah. (2013). Pemanfaatan Tenaga Surya Menggunakan Rancangan Panel Surya Berbasis Transistor 2N3055 Dan Thermoelectric Cooler. *Electrans*, 12(2), 89–96.
- Paul, G. M., Rezaenia, A., Wen, P., Condoor, S., Parkar, N., King, W., & Korakianitis, T. (2018). Medical Applications for 3D Printing: Recent Developments. *Missouri Medicine*, 115(1), 75–81.
- Plowright, R., Belton, D. J., Kaplan, D. L., & Perry, C. C. (2017). Quantifying the efficiency of Hydroxyapatite Mineralising Peptides. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-07247-z>
- Rittenberry, R. (2016). Hands-on technology User Guide BTS7960 High Current 43A H-Bridge Motor Driver. [www.Handsontec.Com](http://www.Handsontec.Com), 9. <http://www.labelektronika.com/2016/09/high-current-motor-driver-lbt-2->

arduino.html%0Ahttps://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-dc-motor-control-tutorial-l298n-pwm-h-bridge/

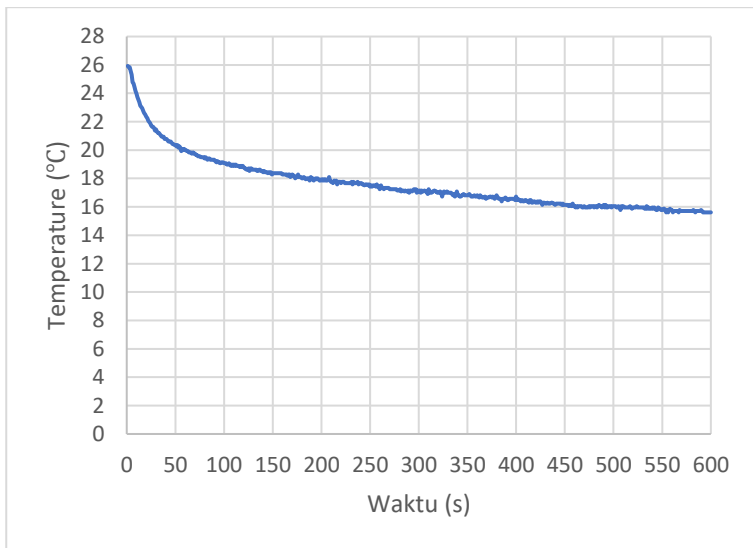
- Salsana, B., Siboro, B. A., & Manik, Y. (2022). Asesmen Teknologi untuk Mesin 3D Printer di Laboratorium Desain Produk dan Inovasi. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 11(1), 106–116. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v11i1.38889>
- Stephanie Torta, J. T. (2019). 3-D printing. In *Scientist* (Vol. 26, Issue 7). DAvid Pallai.
- Syauqiyah, S., & Santjojo, D. J. D. H. (2023). *The Design of a Piston Extruder for the Production of Gelatin Filaments Available for Hydroxyapatite Biocomposite 3D Printing*. 915, 61–69. <https://doi.org/10.4028/p-I51MYw>
- Venkatesan, J., & Kim, S. K. (2010). Chitosan composites for bone tissue engineering - An overview. *Marine Drugs*, 8(8), 2252–2266. <https://doi.org/10.3390/md8082252>
- Wisnu, D., Wahyudi, A., & Nurhadi, H. (2016). Perancangan Sistem Kontrol PID Untuk Pengendali Sumbu Azimuth Turret Pada Turret-Gun Kaliber 20mm. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 512–516. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.18110>
- Zamborsky, R., Kilian, M., Jacko, P., Bernadic, M., & Hudak, R. (2019). Perspectives of 3D printing technology in orthopaedic surgery. *Bratislava Medical Journal*, 120(8). [https://doi.org/10.4149/BLL\\_2019\\_079](https://doi.org/10.4149/BLL_2019_079)

## LAMPIRAN

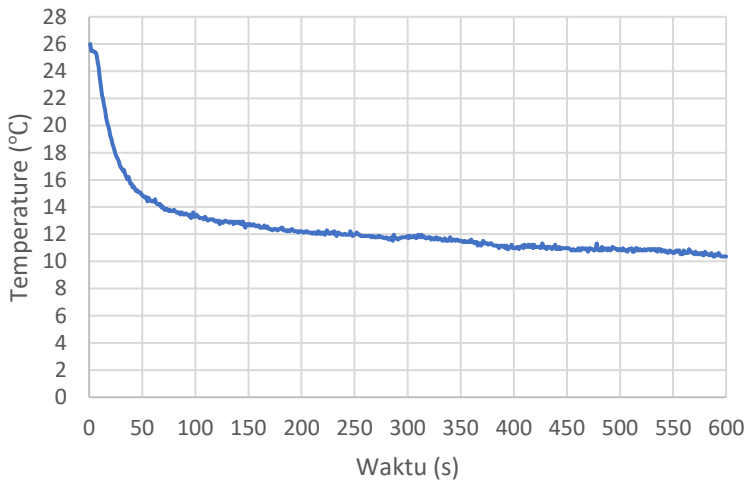
### Pengambilan Data Nilai PWM



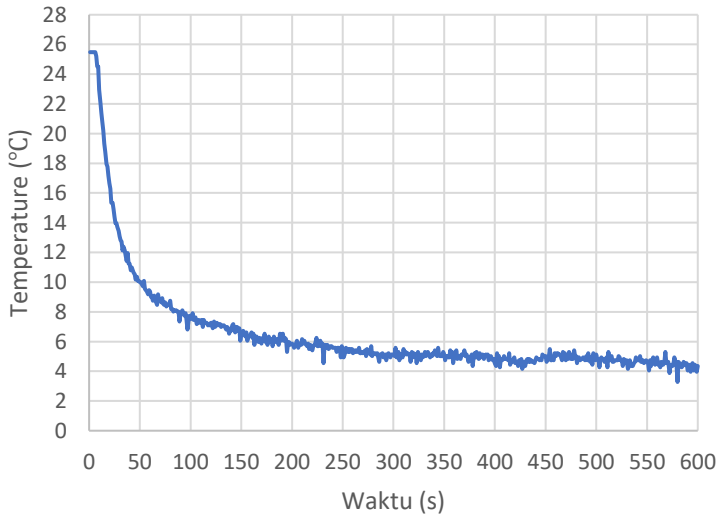
### Respon Sistem Ketika PWM 0%



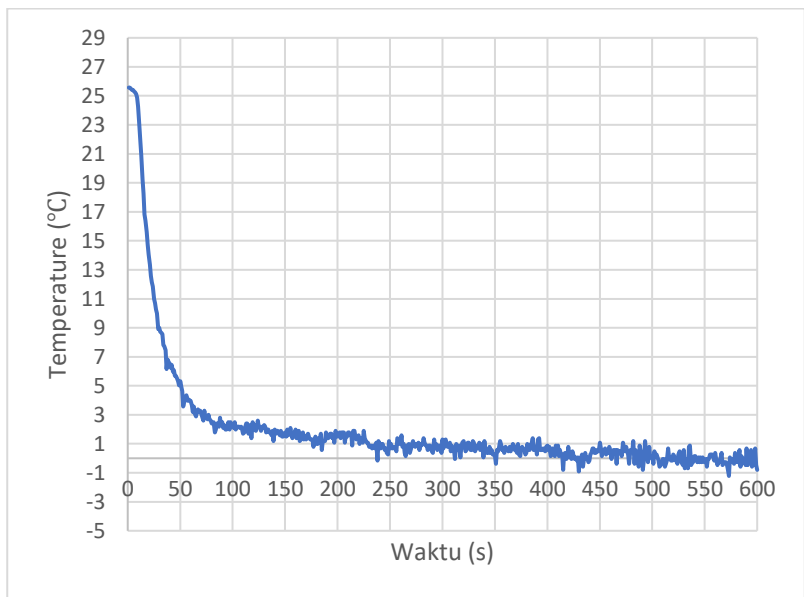
### Respon Sistem Ketika PWM 20%



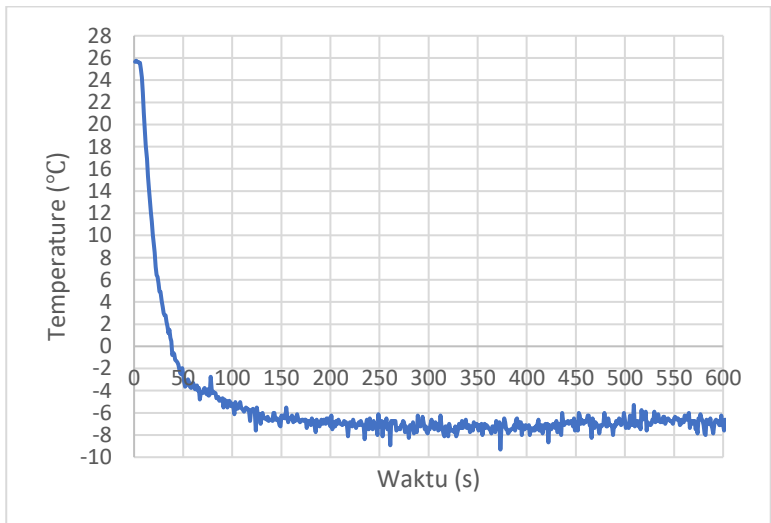
Respon Sistem Ketika PWM 40%



Respon Sistem Ketika PWM 60%

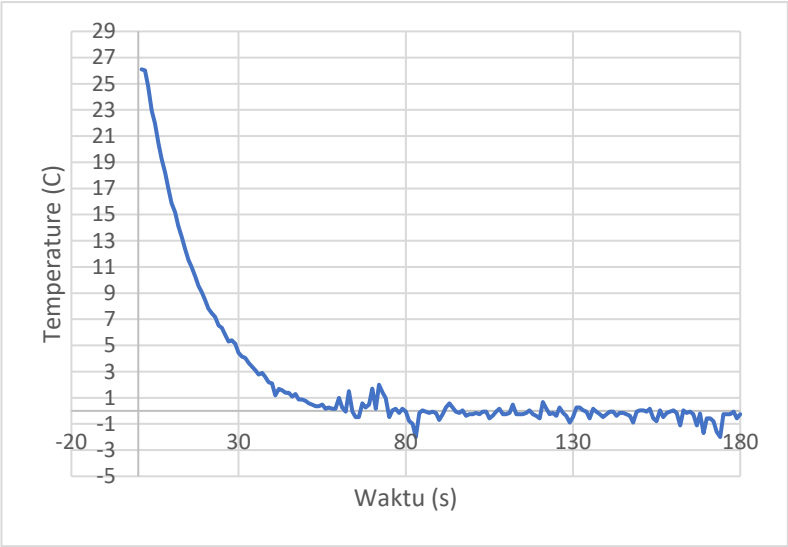


Respon Sistem Ketika PWM 80%

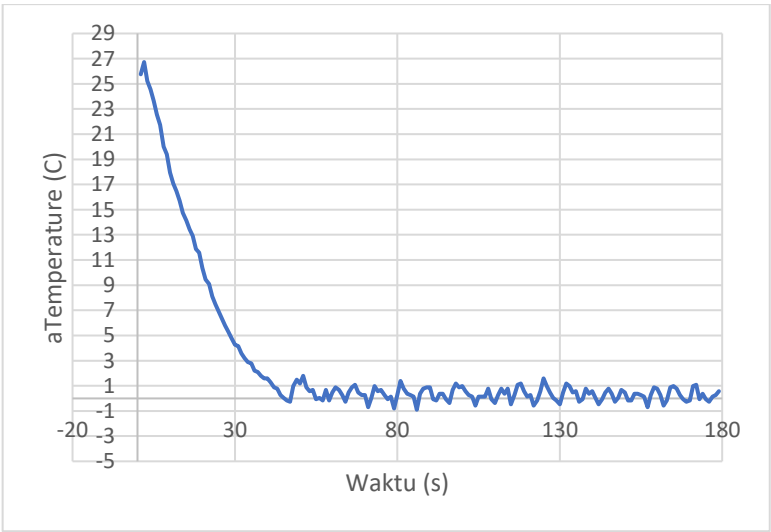


Respon Sistem Ketika PWM 100%

Pengambilan Data Nilai  $K_p$

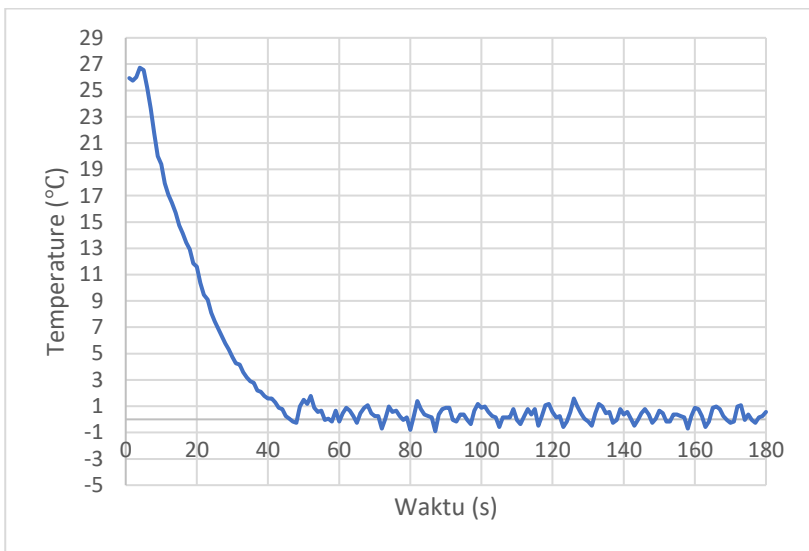


Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_p$  100

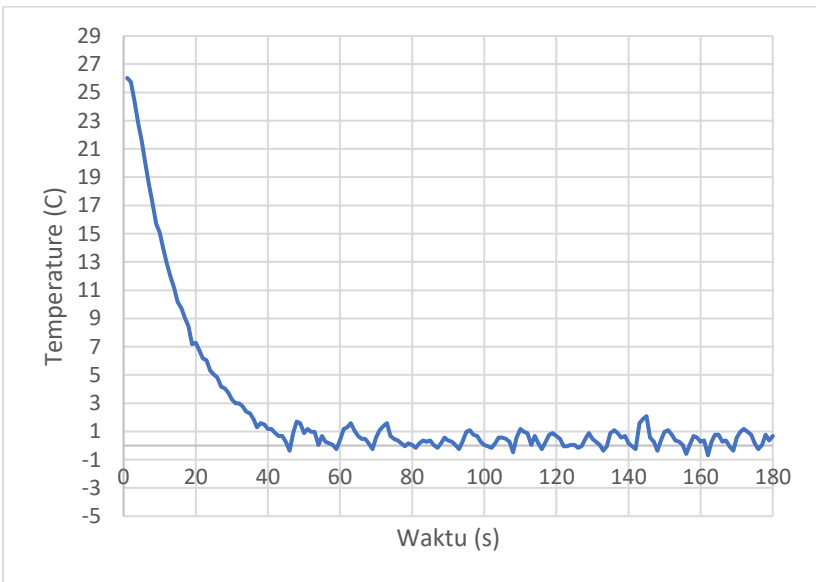


Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_p$  400

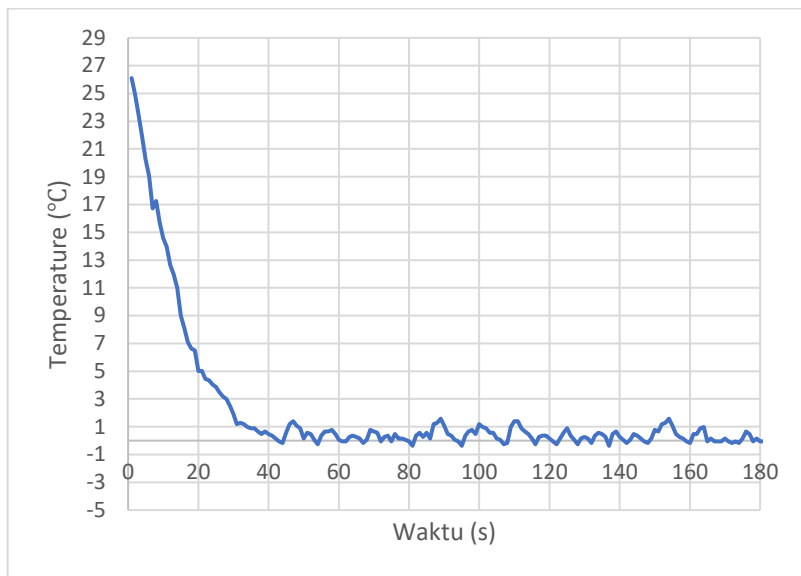




Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_p$  700



Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_p$  1000



Respon Sistem Terhadap Nilai  $K_p$  1200

## Program

```
1  #include <Wire.h>
2  #include <Wire.h>
3  #include <OneWire.h>
4  #include <DallasTemperature.h>
5  //Pins
6  #define ONE_WIRE_BUS 3
7  #define sensor 3
8  #define Buzzer 8
9  #define ntc_pin A0
10 #define power_pin 2
11 #define nominal_resistance 100000
12 #define nominal_temperature 25
13 #define samplingrate 5
14 #define beta 3950
15 #define Rref 100000
16 #define pwm1 5
17 #define pwm2 6
18 float t;
19 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
20 DallasTemperature Suhu(&oneWire);
21 int sample = 0;
22 float x=0;
23 float temperature_NTC = 0.0;
24 float setpoint = 0;
25 float PID_error = 0;
26 float error_sebelumnya = 0;
27 float elapsedTime, Time, timePrev;
28 int PID_value = 0;
29 //PID
30 int kp = 300; int ki = 0; int kd = 0;
31 int PID_p = 0; int PID_i = 0; int PID_d = 0;
32
33 void setup() {
34     pinMode(pwm1,OUTPUT);
35     pinMode(pwm2,OUTPUT);
```

36	pinMode(power_pin, OUTPUT);
37	Time = millis();
38	Serial.begin(9600);
39	Suhu.begin();
40	pinMode(Buzzer, OUTPUT);
41	}
42	void loop() {
43	analogWrite(pwm2, 0);
44	delay(100);
45	uint8_t i;
46	float average;
47	sample = 0;
48	digitalWrite(power_pin, HIGH);
49	for (i = 0; i < samplingrate; i++) {
50	sample += analogRead(ntc_pin);
51	delay(10);
52	}
53	digitalWrite(power_pin, LOW);
54	average = 0;
55	average = sample / samplingrate;
56	average = 1023 / average - 1;
57	average = Rref / average;
58	float temperature;
59	temperature = average / nominal_resistance;
60	temperature = log(temperature);
61	temperature /= beta;
62	temperature += 1.0 / (nominal_temperature + 273.15);
63	temperature = 1.0 / temperature;
64	temperature -= 273.15;
65	temperature_NTC = temperature;
66	x= (temperature_NTC + 0.2959)/0.9577;
67	PID_error = setpoint - x;
68	PID_p = kp * PID_error;
69	if(-3 < PID_error < 3)
70	{
71	PID_i = PID_i + (ki * PID_error);
72	}
73	timePrev = Time;

74	Time = millis();
75	elapsedTime = (Time - timePrev) / 1000;
76	PID_d = kd*((PID_error-error_sebelumnya)/elapsedTime);
77	PID_value = PID_p + PID_i + PID_d;
78	if(PID_value < 0)
79	{ PID_value = 0; }
80	if(PID_value > 255)
81	{ PID_value = 255; }
82	analogWrite(pwm1,255 - PID_value);
83	delay(900);
84	Serial.print("Cool Bed: ");
85	Serial.println(x);
86	
87	Suhu.requestTemperatures();
88	t = Suhu.getTempCByIndex(0);
89	Serial.print("heatsink: ");
90	Serial.println(t);
91	if(t > 30) {
92	for(int i = 0; i < 5; i++){ //Ulang prosedur alarm();
93	sebanyak 5 kali
94	alarm();
95	}
96	}
97	else {
98	delay(1000);
99	}
100	}
101	
102	void alarm(){ //Prosedur alarm
103	digitalWrite(Buzzer, HIGH); //Nyalakan buzzer
104	delay(500); //Selama 500 ms
105	digitalWrite(Buzzer, LOW); //Matikan buzzer
106	delay(500); //Selama 500 ms
107	}
108	
109	
110	